

Desarrollo de proxies para identificar eventos de tormenta en sedimentos de playa basados en métodos indirectos no invasivos.

Autor:

Pablo Osorio Bermejo

Tutores:

Jorge Benito Guillén

Antoni Calafat Frau

Master de Recursos Minerales y Riesgos Geológicos

Especialidad:

Riesgos geológicos

Junio 2025



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

UAB
Universitat Autònoma
de Barcelona



Agradecimientos

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a mis tutores, Jorge Benito Guillén y Antoni Calafat, por su inestimable apoyo, orientación y confianza a lo largo de la realización de este trabajo. Sus consejos y conocimientos han sido fundamentales para culminar esta etapa académica.

A los técnicos de laboratorio, por su profesionalidad y colaboración, que han contribuido enormemente a la calidad de los resultados obtenidos.

Pero, sobre todo, deseo agradecer de corazón a mis padres, por haberme dado la oportunidad de venir a Barcelona a estudiar y vivir una experiencia que va mucho más allá de lo académico. Gracias por su apoyo incondicional, sus sacrificios y por estar siempre a mi lado, incluso en la distancia.

También agradecer a todas esas personas que han convivido conmigo día a día y me han soportado en mis momentos de bucle y disociación.

A mis amigos de Madrid, por hacerme sentir que les tenía a mí lado en todas las llamadas, en los momentos difíciles, y a todos los que he tenido la suerte de conocer este año gracias al máster, quienes han hecho de esta etapa una aventura compartida, llena de aprendizajes y buenos recuerdos sea inolvidable.

En definitiva, gracias a todas las personas que de una forma u otra han hecho posible que hoy pueda entregar este trabajo con tanto orgullo.

Abstract:

Coastal storms represent one of the most significant natural threats to sandy beaches, causing rapid morphological changes, sediment redistribution and damage to coastal infrastructure. Understanding the sedimentary imprint left by these events is crucial for improving coastal risk assessment and for designing effective adaptation strategies in a context of climate change and rising sea levels. Although traditional approaches have relied on direct sampling and destructive laboratory analyses, the potential of non-invasive geophysical methods to detect storm deposits remains underexplored.

This study focuses on the northwestern Mediterranean coast, an area highly vulnerable to extreme weather events. Twenty sediment cores were collected along ten representative beaches of the Catalan coast. Each core was analyzed using high-resolution multisensor core logging (MSCL) and computed axial tomography (CAT) imaging. By combining physical parameters such as bulk density, porosity, P-wave velocity, magnetic susceptibility and acoustic impedance, this research establishes a robust multiproxy framework for identifying storm-induced sedimentary layers with high reliability.

This integrated multiproxy approach enhances the distinction of storm-related layers compared to single-parameter analyses. The coherence among density, acoustic impedance, magnetic susceptibility and P-wave velocity provides solid evidence of abrupt compaction and sediment sorting caused by high-energy overwash processes. By validating this method in diverse coastal settings, the study demonstrates its practical value for coastal hazard assessment and resilience planning.

This work highlights the applicability of indirect, non-destructive methods for storm deposit detection and provides a valuable basis for integrating sedimentological, geophysical and morphological data into comprehensive coastal risk management. The results contribute to a better understanding of past and future storm impacts, supporting more resilient coastal planning and adaptation measures. Overall, this methodology represents a step forward towards high-resolution, non-invasive reconstruction of storm histories in vulnerable coastal environments.

Índice:

1. Introducción.....	3
1.1 Temporales recientes en el litoral catalán	3
1.2 Objetivos.....	4
1.3 Contexto geográfico	4
2. Metodología	5
2.1 Antecedentes.....	5
2.2 Tomografía axial computarizada.....	6
2.3 Análisis de la evolución de la costa (1956–2023)	7
2.4 Multi Sensor Core Logger (MSCL).....	8
2.5 Detección multiproxy de niveles de tormenta	9
3. Resultados	10
3.1 Análisis de tomografía axial computarizada	10
3.2 Evolución de la costa y descripción general de los testigos.	12
3.2 Multi Sensor Core Logger	17
3.3 Identificación preliminar de niveles de tormenta	19
4. Discusión	19
4.1 Relaciones entre las propiedades físicas del sedimento.....	19
4.2 Definición de las proxies idóneas.....	21
4.3 Aplicabilidad de la detección multiproxy	22
4.4 Limitaciones del estudio.....	22
4. Conclusiones	23
6. Bibliografía.....	24
ANEXOS	26

1. Introducción

Los eventos meteorológicos extremos, como los temporales costeros, representan una amenaza significativa para las zonas litorales, ya que pueden provocar erosión, inundaciones y daños en infraestructuras (Marco-Méndez et al., 2024). El estudio de los depósitos de tormenta es clave para comprender la dinámica sedimentaria asociada a estos fenómenos, puesto que permite reconstruir la magnitud y la frecuencia de eventos pasados (Watanabe et al., 2021). Actualmente, las playas del litoral noroccidental mediterráneo muestran una elevada vulnerabilidad frente a la erosión y la inundación inducidas tanto por tormentas como por la subida del nivel del mar, especialmente bajo los escenarios climáticos RCP4.5 y RCP8.5 (Sánchez-Artús et al., 2023). Esta información resulta fundamental para optimizar las estrategias de gestión del riesgo, diseñar planes de adaptación costera y mitigar los impactos de futuros episodios extremos en un contexto de cambio climático.

Los métodos empleados para identificar los depósitos de tormenta en sedimentos litorales son variados; cambios en la textura del sedimento, variaciones geoquímicas o de composición, análisis del contenido y procedencia de microfósiles, entre otros (Kongsen et al., 2021). Sin embargo, las posibilidades que ofrecen los métodos indirectos, no destructivos para este fin, apenas se han explorado en profundidad.

El análisis detallado de los depósitos sedimentarios generados por tormentas aporta información valiosa sobre la resiliencia de los ecosistemas costeros y la evolución morfológica de las playas (De Battisti, 2021). A través de herramientas geofísicas y sedimentológicas, es posible detectar las huellas que estos eventos dejan en el registro geológico reciente, lo que facilita la modelización de patrones de impacto y recuperación del litoral (Kongsen et al., 2021). En última instancia, estos estudios contribuyen a mejorar la planificación territorial y la protección de las comunidades costeras frente a fenómenos meteorológicos extremos cada vez más frecuentes (Marco-Méndez et al., 2024).

1.1 Temporales recientes en el litoral catalán

El litoral catalán ha sido afectado por numerosos eventos de tormenta en los últimos años, dejando una huella significativa en la dinámica sedimentaria de sus playas. Para este estudio, se han considerado los temporales registrados a través de fotografías aéreas en los meses de enero de 2017, marzo de 2018, abril, octubre y diciembre de 2019, enero de 2020, enero de 2021, marzo de 2022 y febrero de 2023.

El temporal de mayor intensidad en la zona de estudio fue el temporal Gloria, (Marco-Méndez et al., 2024), ocurrido en enero de 2020 (Fig.1). Este evento extremo se caracterizó por vientos de más de 100 km/h, un oleaje con alturas superiores a los 7 metros y precipitaciones intensas, lo que provocó graves daños en el litoral, incluyendo erosión severa de playas y alteraciones en la morfología costera (Amores et al., 2020). Debido a su magnitud, se intentará identificar sus depósitos en los testigos obtenidos, con el objetivo de utilizarlos como una capa guía que permita establecer correlaciones entre los distintos registros sedimentarios y evaluar la respuesta del litoral ante este tipo de fenómenos.



Figura 1. Temporal Gloria impactando en el litoral de Barcelona en enero de 2020. Fuente: La Vanguardia (2020), fotografía de lectores, disponible en <https://www.lavanguardia.com/participacion/las-fotos-de-los-lectores/20200123/473087611242/balance-borrasca-temporal-gloria-barcelona-playas.html> (consultado el 15 de junio de 2025).

1.2 Objetivos

El objetivo principal de este estudio es identificar eventos de tormenta recientes en el registro sedimentario del litoral catalán mediante métodos indirectos, con el fin de establecer *proxies* que permitan reconocer temporales históricos y mejorar la evaluación de riesgos costeros. Los objetivos específicos son:

- 1) Caracterizar las propiedades físicas del registro sedimentario de playas mediante perfilado multisensorial y tomografía axial computarizada.
- 2) Determinar la variabilidad de parámetros geofísicos como conductividad, resistividad, velocidad de ondas P, densidad, porosidad, impedancia y susceptibilidad magnética.
- 3) Identificar patrones en la distribución y composición de los depósitos sedimentarios en distintas playas.
- 4) Evaluar el papel de estos depósitos en la evolución costera y definir sus características en función de los parámetros físicos analizados.
- 5) Contribuir al desarrollo de herramientas predictivas para la gestión del riesgo geológico en zonas costeras expuestas a eventos extremos.

1.3 Contexto geográfico

El área de estudio comprende aproximadamente 220 km del litoral catalán, desde la bahía de Roses, en el norte de Girona, hasta la playa de Mont-roig, en el extremo sur de Tarragona (Fig. 2). Este tramo costero presenta un gradiente geomorfológico complejo, combinando playas abiertas, sectores urbanizados, zonas naturales protegidas, cordones dunares, calas rocosas y deltas fluviales.

La dinámica litoral está condicionada principalmente por el régimen de oleaje del Mediterráneo noroccidental, dominado por vientos de componente este (*levante*) y noreste (*gregal*), capaces de generar temporales con procesos intensos de erosión, transporte y acumulación sedimentaria. La corriente litoral neta sigue una dirección general de NE a SW, regulando la distribución de sedimentos a lo largo de la costa.

El tramo de estudio incluye diez playas representativas de la Costa Brava, Costa Central y Costa Dorada, seleccionadas por su diversidad morfológica y diferente exposición a la dinámica litoral (véase Anexo 2 para detalle de localización y cartografía).

Esta zonificación permite analizar la respuesta sedimentaria a los temporales en diferentes contextos morfológicos y energéticos, facilitando la comparación entre

sectores con distinta exposición al oleaje, grado de intervención antrópica y disponibilidad sedimentaria.

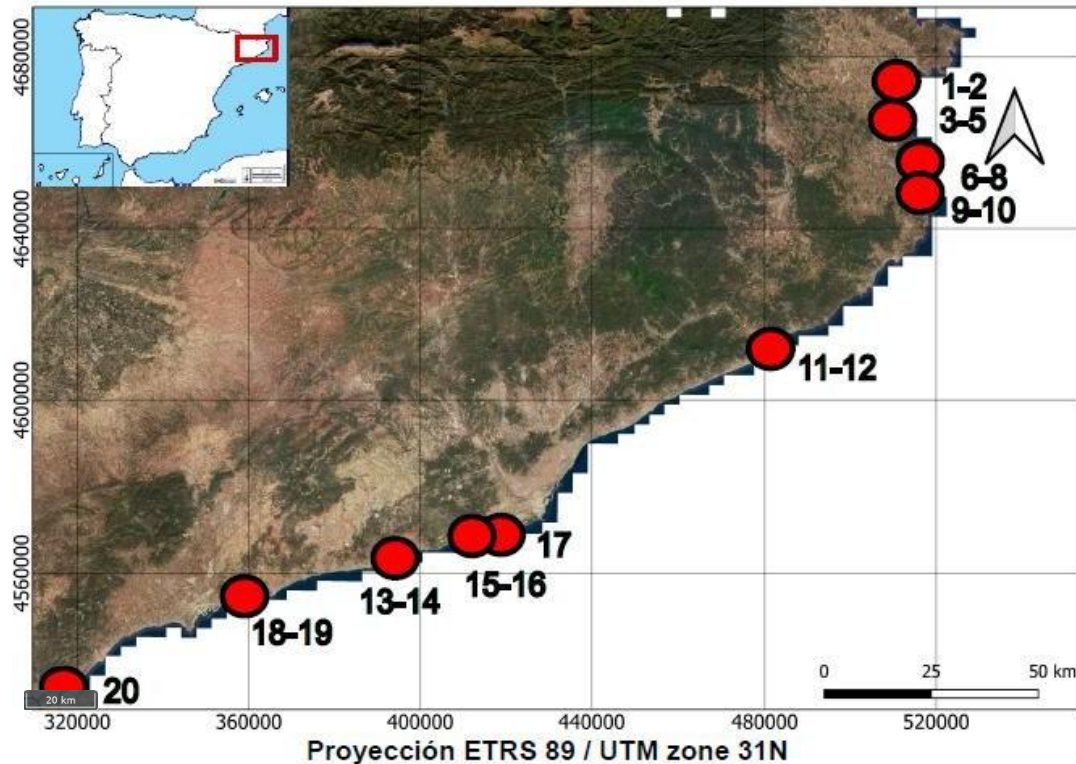


Figura 2. Mapa base de localización de la zona de estudio en la costa catalana, con coordenadas y símbolos añadidos. Modificado de D-maps (s. f.), editado en QGIS 3.32.3 (Lima) y en Inkscape V1.3.2. por el autor.

2. Metodología

2.1 Antecedentes

El presente estudio se basa en el análisis de 20 testigos (Molly1–Molly20) sedimentarios de 4 y 5 cm de diámetro, obtenidos mediante sondeos de succión realizados a lo largo del litoral catalán durante los meses de marzo y abril de 2023. Estos testigos fueron extraídos en un total de 10 playas, utilizando un testificador de succión tipo TSS-1 y conservados (a 4°C) sin abrir para su posterior análisis mediante técnicas no destructivas. Los sondeos se realizaron con el objetivo de identificar los depósitos generados por procesos de *overwash* (rebases puntuales de la línea de costa que generan depósitos sedimentarios llamados *washover fans*). Para ello, se seleccionaron zonas costeras donde, según la cartografía y los inventarios fotográficos del ICGC, ya se habían documentado episodios recientes de *overwash*. Playas como las de Roses o las del entorno de Pals, que destacan por su configuración abierta, su escasa pendiente y la presencia de barreras litorales bajas, lo que, en principio son unas condiciones ideales para que los procesos de *washover* se produzcan y queden potencialmente registrados en el subsuelo.

Aunque se tiene constancia de que actualmente se generan depósitos de tipo *washover*, con estos sondeos se pretende comprobar si estos eventos han dejado una huella sedimentaria reconocible en el registro estratigráfico. Por tanto, se eligieron los emplazamientos “óptimos” para maximizar las probabilidades de detectar estos niveles enterrados y caracterizarlos, con el fin de ampliar el conocimiento sobre la frecuencia y magnitud de temporales históricos en la costa catalana, aportando información clave para mejorar la gestión del riesgo costero y la planificación territorial ante eventos extremos.

Para el análisis en continuo de las propiedades físicas de los testigos sedimentarios se utilizaron dos técnicas complementarias; (1) el perfilado multisensorial (MSCL) y (2) la tomografía axial computarizada (TAC). La combinación de ambas metodologías ofrece un enfoque robusto para el análisis sedimentológico, facilitando la selección de intervalos para análisis destructivos y mejorando la interpretación de procesos paleoambientales de alta frecuencia. Cabe destacar que el trabajo del autor del estudio comienza recibiendo todos los datos obtenidos.

2.2 Tomografía axial computarizada

Se ha realizado el análisis sedimentológico detallado de los 20 testigos, que se hallan distribuidos en distintos entornos de las playas del litoral catalán, mediante el uso de Tomografía Axial Computarizada con un aparato Multitom core instalado en la universidad de Barcelona (Fig.3A). La TAC genera imágenes tridimensionales del interior del testigo a partir de la atenuación diferencial de rayos X, técnica descrita en detalle por Frigola et al. (2015), lo que posibilita identificar estructuras sedimentarias internas, contrastes de densidad y variaciones texturales que no son apreciables externamente (Fig.3B). Esta técnica alcanza resoluciones submilimétricas (entre 5 y 300 μm), lo que la convierte en una herramienta potencialmente útil para detectar registros de eventos de alta energía, como los depósitos generados por procesos de *washover* (Frigola et al.,2015). Este análisis ha permitido visualizar y caracterizar en alta resolución la estructura interna de los testigos, proporcionando una visión precisa de la granulometría, la selección, la porosidad y la presencia de estructuras sedimentarias, así como de elementos relevantes como restos bioclásticos, cantos blandos o duros, gasterópodos, raíces y evidencias de bioturbación.

Cada columna estratigráfica (Fig.3C) realizada ha sido interpretada con una simbología visual coherente y ha sido editada con Inkscape. Se han identificado las estructuras sedimentarias dominantes, como laminaciones horizontales, *ripples* de distintas morfologías, imbricaciones, intercalaciones o secuencias grano-crecientes y decrecientes. La clasificación granulométrica de los sedimentos analizados se realizó siguiendo la escala propuesta por Wentworth (1922). Según esta escala, se consideran gravas las partículas mayores de 0,2 cm de diámetro; las arenas gruesas abarcan tamaños de 0,1 a 0,05 cm; las arenas medias de 0,05 a 0,025 cm; las arenas finas de 0,025 a 0,0125 cm; y las arenas muy finas de 0,0125 a 0,006 cm. Los sedimentos con tamaños inferiores a 0,006 cm se clasificaron como limos o arcillas.

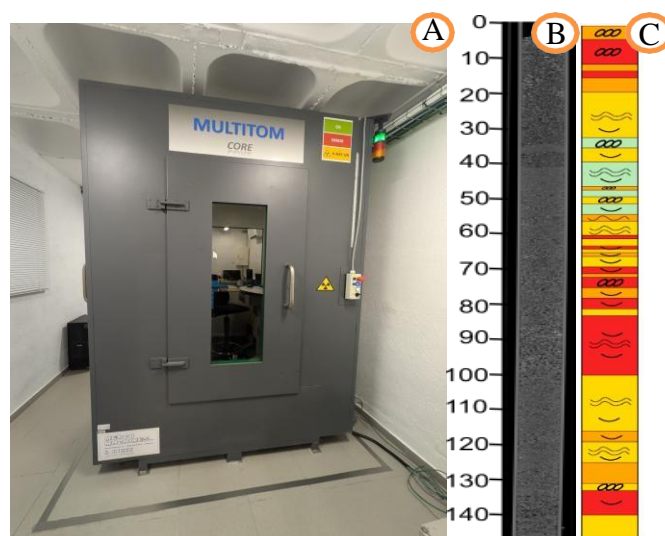


Figura 3. A) Se puede observar el equipo Multitom Core que ha proporcionado las imágenes de Tomografía axial computarizada. B) Muestra una imagen TAC del testigo Molly-12 a modo de ejemplo y a su derecha (C) la columna sedimentaria asociada (Las columnas completas con sus descripciones y leyenda se encuentran en el Anexo 1).

Cada tramo identificado en los testigos se clasificó en función de estos intervalos, permitiendo relacionar la textura dominante con las propiedades físicas obtenidas mediante el perfilado multisensorial y la tomografía axial computarizada. Esta clasificación es esencial para interpretar la dinámica de transporte y deposición de sedimentos durante eventos de alta energía, como los temporales costeros y se ha registrado su organización interna, grado de homogeneidad y calidad de selección.

Otros autores ya han estudiado los depósitos de tormenta y han dado con algunas claves para identificar estos niveles, en este trabajo se analizará la fiabilidad de estas técnicas de análisis.

El esquema descrito por Clifton (1969) para playas de alta energía sirve como modelo base, aunque debe interpretarse con cautela en contextos con influencia de humedales y *lagoons*. El modelo de secuencias tempestíticas de Aigner (1985), concebido para *shoreface* somero, se aplica aquí como guía conceptual, adaptándolo a la dinámica de barreras y depósitos de *overwash* en cordones dunares y zonas inundables.

La identificación de posibles depósitos de tormenta se ha realizado en primer lugar a partir de una revisión detallada de las columnas estratigráficas generadas mediante TAC. Cabe destacar que esta identificación primaria se ha basado exclusivamente en la observación sedimentológica y no en el análisis de parámetros físicos, priorizando la coherencia estratigráfica y la experiencia en la interpretación de ambientes de alta energía. Aunque no todos los niveles presentan simultáneamente todos los indicadores mencionados a continuación, la mayoría cumple con una combinación suficiente de estos rasgos para considerarlos potenciales depósitos de tormenta, aunque en algunos de los testigos no se ha llegado a identificar ningún nivel con características indicadoras.

Los niveles seleccionados (como candidatos a depósitos de tormenta) se definieron atendiendo a la presencia de morfologías sedimentarias características, como alineaciones o imbricaciones de cantos dispuestos en capas horizontales bien delimitadas, la aparición de fragmentos bioclásticos y la detección de tramos con mala selección granulométrica. Estos criterios se han apoyado en observaciones previas de algunos autores que indican que los depósitos generados por procesos de *overwash* durante temporales costeros suelen presentar una capa basal de sedimentos heterogéneos, con selección moderada a mala, que refleja el transporte rápido y la mezcla de materiales durante este tipo de eventos (Morton & Sallenger, 2003).

2.3 Análisis de la evolución de la costa (1956–2023)

Se ha realizado un análisis comparativo de la posición de la línea de costa entre los años 1956 y 2023 en las zonas donde se han obtenido los sondeos para caracterizar la evolución durante las últimas décadas y facilitar la interpretación del registro sedimentario. Esta evaluación se ha llevado a cabo mediante cartografía digital en QGIS, utilizando ortofotos históricas georreferenciadas y ortoimágenes actuales proporcionadas por el Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) y el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA).

Este procedimiento ha permitido identificar patrones de retroceso, estabilidad o avance de la línea de costa en los distintos sectores estudiados, evaluando así el comportamiento erosivo o acrecional de cada playa. Este análisis se complementa con la delimitación espacial de otros elementos morfológicos clave, como dunas activas, depósitos de *washover* y estructuras antrópicas (puertos, espigones, zonas de camping), los cuales se cartografiaron también en QGIS sobre la base de ortofotos recientes (Anexo 2).

Cabe señalar que este tipo de análisis puede estar sujeto a ciertas incertidumbres asociadas a la resolución y precisión geométrica de las imágenes utilizadas,

especialmente en el caso de las ortofotos históricas de 1956. Asimismo, factores como la marea, la humedad del sedimento o la presencia de sombras pueden introducir ligeras variaciones en la identificación del límite tierra-mar. No obstante, se han tomado precauciones metodológicas para minimizar estos errores y garantizar una comparación coherente entre ambas fechas acordes con las necesidades de este estudio.

2.4 Multi Sensor Core Logger (MSCL)

Los 20 testigos se sometieron a esta técnica donde los sensores, previamente calibrados, se deslizan sobre el tubo de PVC por el personal técnico para obtener las diferentes medidas. El sistema MSCL permite registrar con alta resolución (1cm) parámetros como la conductividad, la resistividad eléctrica, la densidad (a través de atenuación gamma), porosidad, la velocidad de propagación de las ondas P, impedancia acústica y la susceptibilidad magnética. Estas propiedades, medidas en testigos completos, son esenciales para la caracterización litológica y la correlación entre testigos. Los datos en bruto de cada uno de estos testigos quedan contenidos en un archivo de tipo .xlsx, en el que se adjuntan 8 columnas (1 columna para la profundidad y las otras 7 para cada una de las propiedades que se mencionan a continuación). Los datos han sido revisados y se han eliminado todos aquellos que se consideran anómalos. Este proceso tiene un cierto componente subjetivo y se basa en buena medida en la experiencia previa y en la comparación con los otros datos, ya que los testigos pueden haber sufrido distorsiones en el proceso de extracción o de transporte. En la (Fig.4) se adjuntan las imágenes del equipo (MSCL).



Figura 4. Imagen del soporte del testigo y la caja en la que se encuentra el láser emisor que registra cada centímetro de los testigos estudiados.

2.4.1 Resistividad eléctrica y conductividad

La resistividad es una medida de la oposición del sedimento al paso de una corriente eléctrica, se mide en (Ohm·m), mientras que la conductividad es su recíproco y se mide en (S/m). Ambos parámetros están controlados por la porosidad, la saturación, la salinidad del agua intersticial y la naturaleza mineralógica del sedimento. Los sedimentos más finos, por su mayor capacidad de retención de agua, suelen mostrar baja resistividad y alta conductividad, mientras que las arenas limpias y secas presentan valores opuestos (Marzluff et al., 2011).

2.4.2 Densidad (ρ) y porosidad (Φ)

La densidad medida en ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) y la porosidad medida en (%) son parámetros clave para interpretar el grado de compactación y la capacidad de almacenamiento de agua de los sedimentos. Las arenas de playa presentan valores de densidad entre 1,5 y 2,0 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, pueden incrementarse en condiciones post-tormenta (Sánchez-Araujo et al., 2025). La porosidad, inversamente relacionada con la densidad, disminuye en niveles con una base compactada y puede servir como indicador de depósitos de *washover*.

2.4.3 Susceptibilidad Magnética

La susceptibilidad magnética volumétrica (χ) se registró de forma continua con el Multi-Sensor Core Logger (instalado en la facultad de ciencias de la tierra de la Universidad de Barcelona). El equipo incorpora un sensor de bucle Bartington MS2C (\varnothing 80 mm) acoplado a un medidor MS2 que opera a la frecuencia estándar de 565 Hz y en un campo de baja intensidad ($< 0,5$ mT), parámetros que garantizan mediciones en baja frecuencia comparables entre laboratorios (Frigola et al., 2015). Para los núcleos partidos se empleó el sensor puntual MS2E, montado sobre el brazo del MSCL, manteniendo la misma frecuencia y amplitud, lo que permitió una resolución de 1 cm sobre la superficie del sedimento (Frigola et al., 2015).

El rango típico obtenido en arenas litorales limpias oscila entre $0,2 \times 10^{-5}$ y 5×10^{-5} SI, mientras que niveles enriquecidos en magnetita (p. ej., depósitos de tormenta) superan los 20×10^{-5} SI debido al predominio de granos magnéticos gruesos (Maher & Thompson, 1999; Hrouda, 2011).

2.4.4 Velocidad de ondas P e impedancia acústica

La velocidad de propagación de ondas P (V_p) se relaciona directamente con el grado de compactación y la saturación en agua del sedimento. En arenas de playa poco consolidadas y secas, la velocidad de las ondas P puede encontrarse entre 40-160 m·s⁻¹ en los primeros centímetros de los testigos. Debido al efecto de la sobrecarga, la velocidad de las ondas P puede ascender hasta más de 200 m·s⁻¹ a un metro de profundidad (Bachrach y Nur, 1998).

En sedimentos costeros someros afectados por procesos de *overwash*, Morton y Sallenger (2003) observaron que la saturación incrementa notablemente la velocidad de ondas P, con valores comparables a los reportados para sedimentos marinos profundos (Hamilton, 1972), aunque adaptados a la menor consolidación de ambientes de humedal o *lagoon*. La presencia de niveles compactados, generados por episodios de tormenta de alta energía, se podría reflejar en los testigos mediante incrementos locales de la velocidad de las ondas P (del orden de +150 a 200 m·s⁻¹ respecto a las capas suprayacentes) fenómeno igualmente documentado en los depósitos de tormenta del delta del Eel River (Gorgas et al., 2002).

La impedancia acústica (Z) (Ec.1), ampliamente utilizada en sismología (Sheriff et al., 1995), también se ha aplicado en contextos costeros para reconocer contactos erosivos y capas compactadas relacionadas con tormentas (Morton y Sallenger, 2003).

(Ecuación 1). ($Z = \rho \cdot V_p$)

Aunque originalmente aplicada a sedimentos de plataforma (Richardson y Briggs, 1993), esta relación entre Z y compactación se extrapola aquí a ambientes litorales someros, siguiendo la evidencia de Morton y Sallenger (2003) sobre compactación post-temporal en cordones dunares y *washover fans*. Este patrón también se ha documentado en los depósitos de tormenta del Río Eel, donde la compactación progresiva genera incrementos locales de (Z) respecto a los estratos suprayacentes (Gorgas et al., 2002).

2.5 Detección multiproxy de niveles de tormenta

Se aplicó un análisis multiproxy para reforzar la identificación de posibles depósitos de tormenta, complementando con la inspección visual de las imágenes TAC. No se tuvieron en cuenta los testigos (Molly 1 y 9) que presentaban alteraciones en el sedimento debido a la extracción de estos. Se descartaron los primeros 20 cm de cada testigo en parámetros como la porosidad y la velocidad de las ondas P por la poca fiabilidad que presentan los datos que se encuentran cercanos a la superficie. También

se eliminaron todos los datos con porosidad superior a 0,70, considerando que estos reflejan huecos o pérdidas de muestra. Se excluyeron los extremos de cada testigo (primeros y últimos 6 cm) para minimizar errores de muestreo. A continuación, se analizaron cinco parámetros: Velocidad de ondas P, densidad, impedancia acústica, porosidad y susceptibilidad magnética. Para cada uno se aplicó el rango intercuartílico (IQR) para detectar valores singulares. Por último, se consideraron potenciales niveles de tormenta aquellos tramos que presentaron al menos dos cambios abruptos en alguna de las cinco propiedades físicas, presentándose con valores singulares de forma simultánea. La aplicación de estos parámetros se fundamenta en estudios de referencia, como los de Morton y Sallenger (2003), que demuestran que la compactación, la gradación y la base erosiva de depósitos de tipo *washover* pueden detectarse de forma indirecta mediante proxies físicos.

3. Resultados

3.1 Análisis de tomografía axial computarizada

Se han identificado un total de 89 niveles (Tabla 1) que presentan algunas de las características necesarias para poder interpretarlos como depósitos de tipo *washover*. Existen 5 testigos que no muestran signos deposicionales de tipo *washover*, estos son: Molly 4, 9, 13, 16 y 19. En el (Anexo 3) se ejemplifican los niveles candidatos más representativos de cada columna que presentaba posibles depósitos de tipo *washover*. En estas imágenes se pueden observar diferentes morfologías deposicionales. Estas, posiblemente estén asociadas a diferencias en la ubicación del sondeo y de las intensidades de los temporales que registraron estos testigos.

Las diferencias principales residen en el tamaño de la granulometría, pero también en la morfología y potencia de los depósitos. Se han identificado 6 tipos de registros en tres tipos de testigos diferentes:

- 1). Algunos de estos registros se presentan en testigos con una mayor parte de la granulometría de tamaño fino, como niveles de limos muy bien seleccionados con potencias inferiores a 1 centímetro (Molly 3, 5, 14 y 18). Otros testigos del mismo aspecto general revelan niveles de grano fino, bien seleccionados y con aspectos laminares de hasta 2 cm (Molly 6 y 7). Por último, en este tipo de testigos también se han registrado niveles con mayor contraste. Se observan tramos de grano medio/grueso que presentaban un aspecto caótico, muy mal seleccionado y con una potencia que oscila entre 1 y 2 centímetros (Molly 8, 10, 12 y 17).
- 2). Se han podido apreciar testigos de grano fino/medio con granos gruesos dispersos en matrices de limos, estos niveles presentan un aspecto caótico y sus potencias oscilan entre 2 y 5 centímetros (Molly 1 y 11) (Fig. 5). También se aprecia en testigos de grano fino/medio, niveles de grano medio/grueso en la base, hacia techo de estos niveles se observan sedimentos finos. Tienen una potencia aproximada de 5 centímetros y solamente han sido registrados en el Molly 20.
- 3). En testigos de granulometrías superiores reflejan niveles de grano grueso de aspecto caótico, también presentan restos bioclásticos dispersos un buen ejemplo sería el (Molly 2).

Prof. (cm)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
0-10	-	-	-	-	-	7-15	5-9	1-2, 4-7	-	-
10-20	-	-	-	-	11-16	-	17-20	-	-	10
20-30	-	-	-	-	-	21-22	-	26-28	-	24-25, 27-29
30-40	-	-	30, 35-36, 39-40	-	-	-	38-41	-	-	34-35, 37
40-50	-	46-56	-	-	-	44-46	-	-	-	40-42, 49-51
50-60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53-55
60-70	-	-	-	-	-	-	64-68	-	-	57-65
70-80	72-76	-	-	-	-	78-85	-	-	-	71-76, 78-79
80-90	-	-	-	-	85	-	-	-	-	84-85
90-100	-	-	-	-	92-95, 99-101	-	-	-	-	98-101
100-110	-	-	-	-	105	100-102	-	-	-	103-104
110-120	-	-	-	-	108-114	-	-	-	-	-
120-130	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
130-140	-	-	-	-	134-136, 138	-	-	-	-	-
140-150	-	-	-	-	145-148	-	-	-	-	-
150-155	-	-	-	-	150-152	-	-	-	-	-

A

Prof. (cm)	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20
0-10	14-15	-	-	-	1-2, 7-11	-	-	6-8	-	4-6
10-20	-	-	-	-	-	-	10-12	17-20	-	15-20
20-30	20-22, 24-31	21-36	-	-	22-26	-	28-30	24-27	-	-
30-40	37-38	21-36	-	32-37	-	-	-	37-39	-	30-32
40-50	40-44	44-46	-	41-52	43-47	-	-	-	-	45-47
50-60	-	56-58	-	55-59	-	-	-	-	-	-
60-70	-	60-61, 63-65	-	-	-	-	61-63	64-67	-	63-65
70-80	-	69-74, 77-80	-	77-78	74-77	-	-	-	-	74-75
80-90	-	82-83, 87-89	-	81-83, 88-90	-	-	-	87-88	-	89-90
90-100	90-104	96-107	-	-	-	-	-	-	-	-
100-110	-	96-107	-	-	-	-	-	-	-	104-105
110-120	118-119	-	-	-	-	-	-	118-119	-	-
120-130	-	124-129	-	-	-	-	-	-	-	-
130-140	131-133	-	-	-	-	-	-	-	-	-
140-150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
150-155	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

B

Tabla 1. En esta tabla se puede observar los niveles que según el criterio sedimentológico del autor del trabajo son posibles depósitos de *washover*. Se representa la profundidad a la que se encuentran estos niveles (en el lado izquierdo) y los centímetros entre los que se encuentran estos niveles por sondeo. En la Tabla 1(A) se adjuntan los testigos entre (S1-S10), en la Tabla 1(B) se representan los niveles registrados entre (S11-S20).

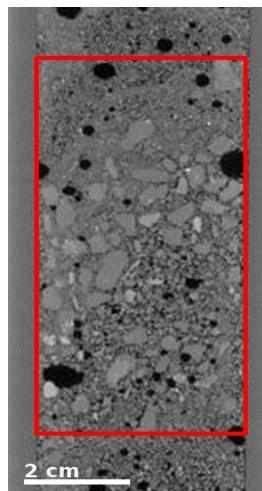


Figura 5. Sección de 5 cm de largo del testigo Molly 1, la imagen corresponde a un depósito relativamente caótico, presenta una secuencia granocreciente y bioclastos dispersos. El diámetro del testigo mide un total de 4 cm. El resto de niveles característicos se encuentran en el Anexo 3.

3.2 Evolución de la costa y descripción general de los testigos.

La descripción completa de los testigos se encuentra en el (Anexo 1). En este apartado se mencionan las propiedades generales de cada uno de los testigos y de las playas a las que pertenece cada uno de ellos. Los sondeos se mencionan según su distancia a la línea de costa, primero los más alejados y a continuación los más cercanos dentro de cada playa. Se ha realizado un esquema conceptual en el que se representan las diferentes localizaciones de los sondeos a lo largo de un hipotético perfil litoral (Fig.6).

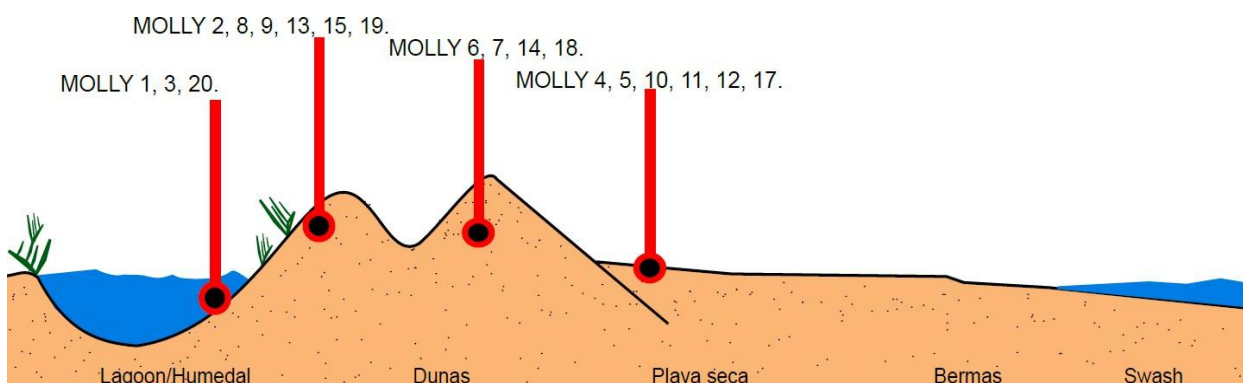


Figura 6.- Esquema de la situación de los testigos obtenidos en función de su posición respecto a la línea de costa. Se ha confeccionado utilizando *Inkscape V1.3.2*.

Playa La Rubina (MOLLY 1 y 2)

La Rubina se localiza en el extremo norte del municipio de Castelló d'Empúries, en la bahía de Roses, al norte de Empuriabrava. Se trata de una playa de carácter natural, situada entre un cordón dunar relativamente degradado y una amplia zona de marismas interiores, dentro del Parc Natural dels Aiguamolls de l'Empordà.

Los sondeos se realizaron tanto sobre el cordón dunar como en la zona de marismas, lo que permite capturar diferentes ambientes sedimentarios. Desde finales de los años 60, la construcción de un espigón en el límite oriental de la playa ha modificado significativamente el transporte litoral, provocando la acumulación de sedimentos justo al abrigo de la estructura y favoreciendo la progradación local de la línea de costa. En cambio, en las zonas más alejadas del espigón se ha observado un retroceso progresivo del frente costero, atribuible al déficit de sedimentos derivado de esta intervención antrópica. En la cartografía del (Anexo 2.1) se pueden observar los depósitos de *washover* que pudieron quedar reflejados en el registro sedimentológico.

El sondeo Molly 1 presenta una sucesión de arenas muy finas, medias y gruesas, con niveles bien y mal seleccionados (Fig.5). Se observan bioclastos y cantos imbricados en algunos tramos, con marcada porosidad. La columna muestra una alta heterogeneidad textural y estructural.

Molly 2 muestra una transición vertical de arenas medias a gruesas con presencia intermitente de bioclastos y estructuras visibles. La selección varía con la profundidad y se detectan cambios en la abundancia de grano grueso. Es un testigo con mucha variabilidad, con tramos porosos y mal seleccionados.

Playa Riuet (MOLLY 3, 4 y 5)

Los sondeos 3, 4 y 5 se localizan en la Platja d'Empúries, a unos 6 km al sur de la desembocadura del río Fluvià. Esta playa forma parte del sistema natural del Parc Natural dels Aiguamolls de l'Empordà y combina una extensa barra arenosa con zonas

de marismas y canales de drenaje. Se observa vegetación halófila y sistemas dunares moderadamente estabilizados. La dinámica sedimentaria está condicionada por la acción del oleaje y en menor medida por la descarga fluvial, lo que favorece la acumulación de arenas finas y limos. La intervención antrópica en esta zona es mínima, aunque existen algunas estructuras de canalización que alteran puntualmente el flujo del río, pero no deberían alterar los resultados de los testigos. En el mapa incluido en el (Anexo 2.2) se aprecian los posibles depósitos de *washover* conservados en el registro sedimentológico.

Molly 3 representa una columna de arenas muy finas bien seleccionadas en la parte superior y tramos intercalados de arcillas en la base. Presenta estructuras como *ripples* y bases erosivas. No se identifican bioclastos y muestra buena homogeneidad en los niveles superiores (Anexo 1.3). Este testigo se compone principalmente de materiales limosos o muy finos, por eso los niveles como los primeros ocho centímetros del sondeo que corresponden a granos finos/medios podrían corresponder a alguno de los últimos temporales registrados. A la altura del centímetro 30 de profundidad se encuentran tres niveles laminados, estos también se alejan de la morfología de los depósitos generales del sondeo y se estudiarán más adelante.

El sondeo Molly 4 está compuesto mayoritariamente por arenas finas a muy finas, bien seleccionadas. Se observa una sucesión vertical de *ripples* con variación de tamaño de 1 a 2 cm. Presenta una estructura interna homogénea y no se identifican bioclastos.

En el sondeo Molly 5 predominan arenas finas bien seleccionadas con laminaciones horizontales y lenticulares poco marcadas. Es una columna relativamente homogénea, sin bioclastos y con porosidad moderada.

Playa Ter Vell (MOLLY 8, 6 y 7)

Ubicada al sur de l'Estartit, la playa del Ter Vell está influenciada por antiguos brazos del río Ter y zonas de marismas costeras estabilizadas. Se trata de una playa natural, rectilínea, con presencia de sistemas dunares poco desarrollados en retroceso, y una llanura de inundación hacia el interior. Los sondeos se distribuyen en sectores con potencial acumulación de arenas finas y limos, lo que encaja con un entorno de baja energía relativa dominado por sedimentación marina y algo de fluvial combinada. L'Estartit ha modificado notablemente la línea de costa en el km que se encuentra entre los sondeos y el puerto, pero a la altura del área de testificación la línea de costa no se ha visto prácticamente alterada. La cartografía mostrada en el (Anexo 2.3) evidencia la presencia de depósitos de *washover* que pudieron quedar registrados sedimentológicamente.

El sondeo Molly 8, el situado más lejos de la línea de costa, muestra gran diversidad textural y estructural, con intercalaciones de arcillas, *ripples*, bioclastos, acumulaciones de grano grueso y tramos caóticos. Se observan múltiples estructuras sedimentarias que evidencian dinámica variable.

La ubicación de MOLLY 6 y 7 es la misma, lo único que diferencia estos sondeos es el diámetro del testigo, que varía un centímetro entre sí. (Molly 6; 4 cm) (Molly 7; 5 cm). Gracias a ello se han hecho observaciones de la variabilidad de los registros en un área muy pequeña. Texturalmente son registros muy parecidos:

Molly 6 se caracteriza por arenas finas a medias, *ripples*, bioclastos y laminaciones horizontales. Se detecta gran heterogeneidad estructural y sedimentaria, y destaca por su cantidad de estructuras laminadas en sus registros. En algunos tramos del testigo no se ha recuperado sedimento, lo que dificulta la interpretación.

En Molly 7 se observa una columna de arenas finas bien seleccionadas con laminaciones horizontales poco marcadas. Se identifican *ripples* en tramos intermedios. No hay presencia de bioclastos ni grandes cambios granulométricos.

Playa Mas Pinell (MOLLY 9 y 10)

Mas Pinell es una playa abierta y extensa situada al sur de la desembocadura del Daró. Presenta un cordón pseudo-dunar y una transición hacia campos agrícolas al interior. La urbanización de la zona es moderada, localizada hacia el sur. Gracias a las imágenes post-temporal del ICGC se han podido identificar tres depósitos de *washover* diferentes que afectan a los sondeos. La cartografía mostrada en el (Anexo 2.4) evidencia la presencia de depósitos de *washover* que pudieron quedar registrados sedimentológicamente.

El sondeo Molly 9 se caracteriza por presentarse como una columna homogénea de arenas muy finas bien seleccionadas. Se detectan bioclastos en algunos niveles, pero no hay estructuras sedimentarias destacadas. Presenta baja porosidad.

Molly 10 es un sondeo heterogéneo con presencia de *ripples*, bioclastos, estructuras caóticas, laminaciones horizontales y desorganización textural. Presenta tramos bien y mal seleccionados con estructuras caóticas, lo que podría indicar niveles de rápida sedimentación, al igual que los depósitos de *washover*. La influencia del Ter favorece el depósito de arenas finas a medias con intercalaciones limosas. La acción del oleaje y cambios en la dinámica del ambiente durante tormentas permiten la formación de estructuras sedimentarias bien marcadas.

Playa La Tordera (MOLLY 11 y 12)

Situada inmediatamente al norte de la desembocadura del río Tordera. Es una playa semiurbana, con espigones que modifican el transporte de sedimentos. En el (Anexo 2.5) se ilustra la localización de los depósitos de *washover* potencialmente preservados en los sedimentos.

En Molly 11 se observan arenas finas a medias con abundante simbología: *ripples*, bioclastos, cantos blandos y duros, y basura. La selección es variable. La columna presenta cambios heterogéneos que permiten identificar numerosas estructuras y es morfológicamente muy rica.

El sondeo Molly 12 presenta alternancia granulométrica entre arenas finas y medias, con bioclastos y cantos imbricados. Se observan porosidad alta en algunos tramos y estructuras variadas, lo que indica heterogeneidad.

Playa Cal Francès (MOLLY 17)

Cal Francès es una playa poco urbanizada y relativamente estrecha, con sistemas dunares secundarios y vegetación pionera. Su morfología sugiere un ambiente más natural, aunque recibe la influencia de estructuras cercanas que han alterado el transporte litoral. Esta configuración se muestra en la cartografía realizada (Anexo 2.8).

Molly 17 representa una columna con base de sedimentos removilizados, seguida de arenas finas con *ripples* marcados. Presenta cambios en la porosidad, niveles con bioclastos y buena selección general.

Playa Filipines (MOLLY 16 y 15)

Playa de características semiurbanas localizada entre Torredembarra y Creixell. Presenta un cordón dunar modificado por urbanización y paseos marítimos. Tiene cierta

protección frente a temporales por la orientación local del litoral. La granulometría dominante son arenas medias con menor presencia de gravas. La acción antrópica condiciona la estabilidad del perfil de playa, y en los sondeos se pueden reconocer capas más homogéneas. Los depósitos de *washover* que se habrían incorporado al registro sedimentario se representan en la cartografía del (Anexo 2.7).

El Molly 16 es un sondeo muy estructurado con presencia de *ripples* múltiples, bioclastos, tramos no válidos, cantos y variación granulométrica. Alta diversidad morfológica y sedimentaria.

En el sondeo Molly 15, predominan arenas muy finas con intercalaciones de arenas finas y *ripples* de diferente tamaño. Se observan raíces y bioclastos en niveles bajos. Heterogeneidad moderada y buena selección.

Playa Port Ginesta (MOLLY 13 y 14)

La Playa del Trajo se sitúa en el casco urbano de Sitges, al pie del centro histórico y flanqueada por el icónico paseo marítimo. Es una playa pequeña y urbana, resguardada por espigones que favorecen la acumulación de arenas, al oeste de la playa se encuentra el puerto de Ginesta. Las acumulaciones son mayoritariamente de arenas medias a gruesas, bien seleccionadas. En los testigos se podrían esperar registros relativamente homogéneos, con baja porosidad y mayor densidad, propios de ambientes de acumulación selectiva. Tanto la (Fig.7) como él (Anexo 2.6) contienen la cartografía donde se identifican posibles depósitos de *washover* documentados en los testigos sedimentarios.

MAPA PLAYA 6 Ginesta

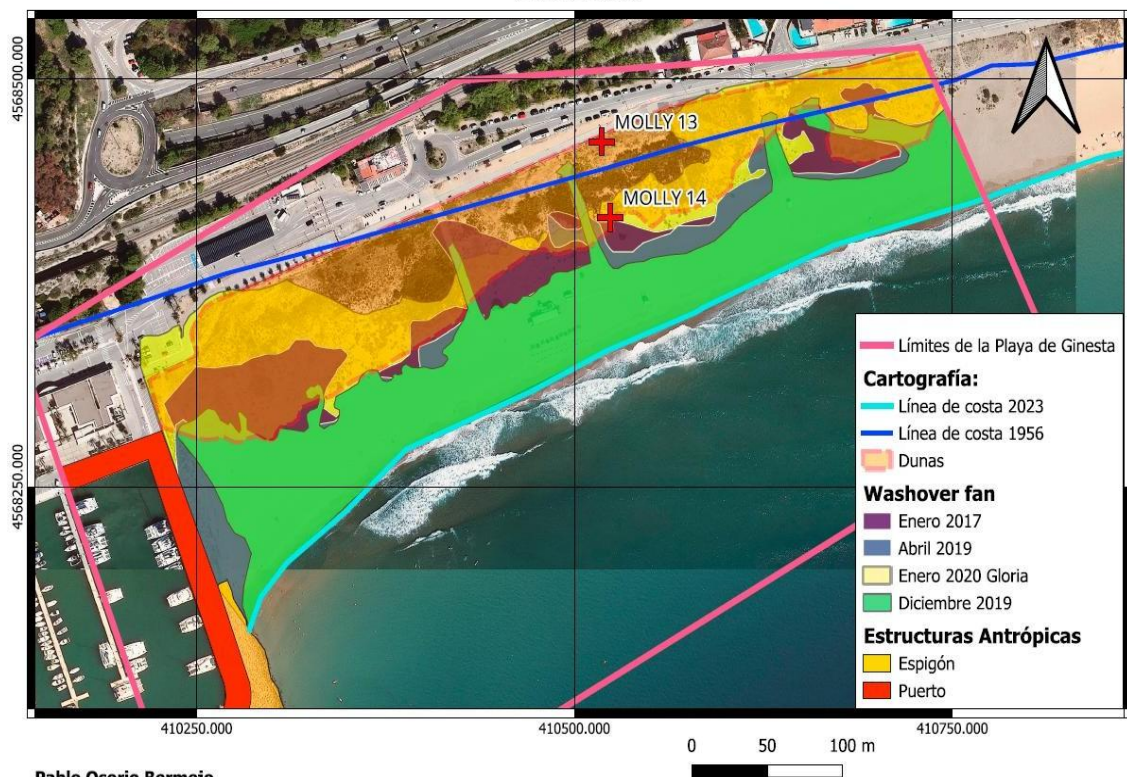


Figura 7. Mapa ejemplo de la playa 6 con leyenda adjunta y representación de la localización de los sondeos. Confeccionado por el autor mediante Qgis 3.32.3 (Lima).

Molly 13 corresponde a una columna homogénea de arenas muy finas bien seleccionadas. Se encuentran *ripples* en algunos niveles y no se registran estructuras complejas ni bioclastos. Porosidad baja.

El Molly 14 se caracteriza por ser una columna bien seleccionada, compuesta por arenas finas a muy finas. Se encuentran bioclastos, secuencias granocrecientes y numerosos *ripples*. Presenta buena organización vertical.

Playa Creixell (MOLLY 19 y 18)

Situada en la Costa Dorada, esta playa presenta un perfil arenoso rectilíneo, con urbanización densa y paseos marítimos. Existen obras de estabilización que han influido en la morfodinámica. La playa tiende a tener acumulaciones homogéneas de arenas medias a finas, con posible compactación en profundidad. Los testigos pueden mostrar baja variabilidad vertical y baja porosidad en algunos tramos. La cartografía del (Anexo 2.9) permite visualizar los niveles de *washover* que pudieron quedar almacenados en la secuencia sedimentaria.

El sondeo Molly 19 representa una columna de arenas muy finas con buena selección general. Presenta *ripples*, bioclastos, bioturbación y cantos dispersos. Estructura bastante homogénea salvo niveles intermedios.

En el sondeo Molly 18 se observan arenas muy finas bien seleccionadas con numerosos *ripples* y presencia de bioclastos. Se alternan tramos porosos con homogéneos, mostrando variabilidad interna.

Playa Mont-roig (MOLLY 20)

Playa abierta, extensa, con presencia de sistemas dunares y espacios agrícolas en el interior. Aunque está urbanizada, conserva sectores más naturales al sur (zona en la que se testificó). Al realizar la cartografía se observó que el sondeo Molly 20 se realizó en una zona deprimida, esta área se inunda en episodios de tormenta de gran magnitud, como en el caso del temporal Gloria 2020, de hecho, el único temporal que ha llegado a inundar esta zona en los últimos diez años ha sido este (Anexo 2.10).

Molly 20 es un sondeo muy heterogéneo con arenas de grano medio a grueso, *ripples*, bioclastos, cantos imbricados y un tramo final arcilloso con raíces y restos orgánicos. Presenta una gran variabilidad y posee un probable nivel de tormenta en los centímetros más superficiales, este tramo registrado (Fig.8), presenta la morfología ideal para otros autores (Morton y Sallenger 2003).

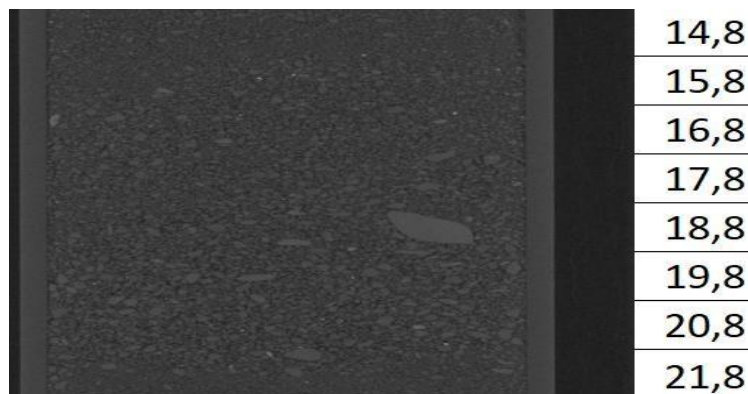


Figura 8. Sección del testigo Molly 20, imagen proporcionada por el equipo TAC de la Universidad de Barcelona. Se puede observar una secuencia granodecreciente en un nivel con granos medios/gruesos dispersos. A la izquierda se ilustra el cm exacto del sondeo en la vertical, el diámetro del testigo mide un total de 5 cm.

3.2 Multi Sensor Core Logger.

Para facilitar la interpretación de los parámetros físicos obtenidos, se ha elaborado una doble representación gráfica de los datos. Por un lado, se generaron perfiles individuales para cada sondeo escalados de la misma forma (Fig. 9), donde se muestran las diferentes propiedades (porosidad, densidad, velocidad de ondas P, impedancia acústica, resistividad, conductividad y susceptibilidad magnética) mediante curvas de colores diferenciados, permitiendo apreciar las variaciones verticales a lo largo de cada testigo (todas ellas representadas en el Anexo 4). Por otro lado, se construyeron diagramas comparativos que agrupan la misma propiedad para todos los testigos, también a la misma escala, lo que posibilita una visión global de la distribución espacial de cada parámetro y facilita la identificación de patrones comunes o anomalías significativas a escala regional (Fig. 10). Esta metodología visual complementa la descripción sedimentológica detallada y respalda la interpretación de posibles niveles generados por eventos de tormenta.

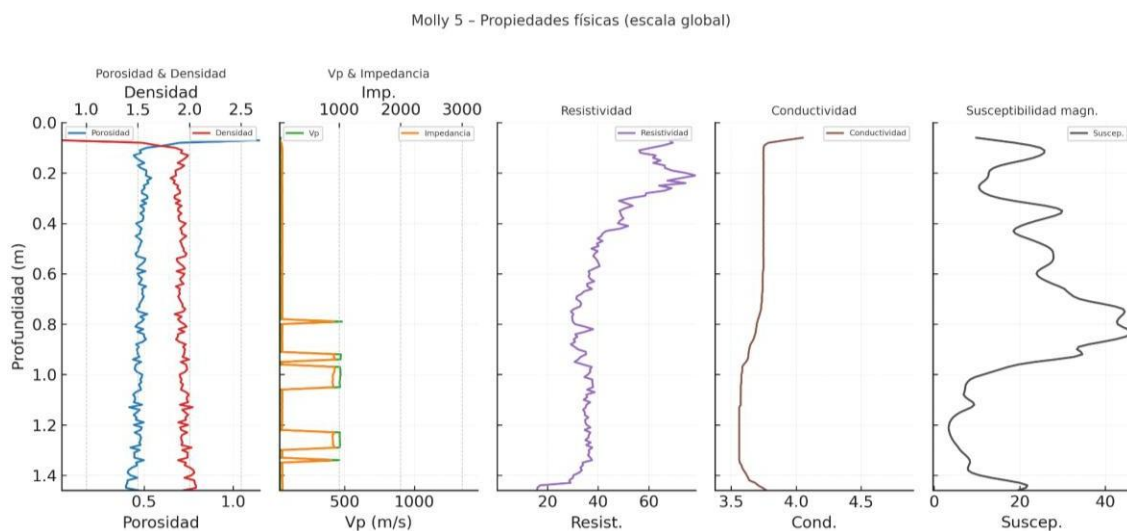


Figura 9. Representación gráfica de las propiedades físicas registradas en cada sondeo representadas sobre la misma escala en la vertical. Esta escala viene condicionada por la longitud del testigo. En el Anexo 4 se encuentran las representaciones gráficas de cada uno de los 20 testigos. Se ha confeccionado utilizando Inkscape V1.3.2.

3.2.1 Resistividad eléctrica y conductividad

La resistividad eléctrica de los testigos presenta una gran variabilidad, con valores que oscilan entre 0,24 Ohm·m (S1) y 78,49 Ohm·m (S5). La media global se sitúa en 5,52 Ohm·m con una desviación estándar de 10,34, lo que indica una considerable heterogeneidad entre los perfiles. Los testigos S5, S2 y S8 registran los valores medios más altos, mientras que S1, S6 y S14 muestran los mínimos.

Tras la depuración de datos anómalos, se conservaron 2131 registros de conductividad. Los valores varían entre 3,37 y 4,99 mS/m, con una media general de 4,271 mS/m. El mínimo se registró en S6 y los máximos en S7 y S13 (ambos 4,99 mS/m). También se obtuvieron valores altos en S9, S10, S13, S7 y S11. Los testigos con mayor variabilidad interna fueron S2, S5 y S6, mientras que otros, como S10, S15, S16, S11 y S18, presentan escasa dispersión.

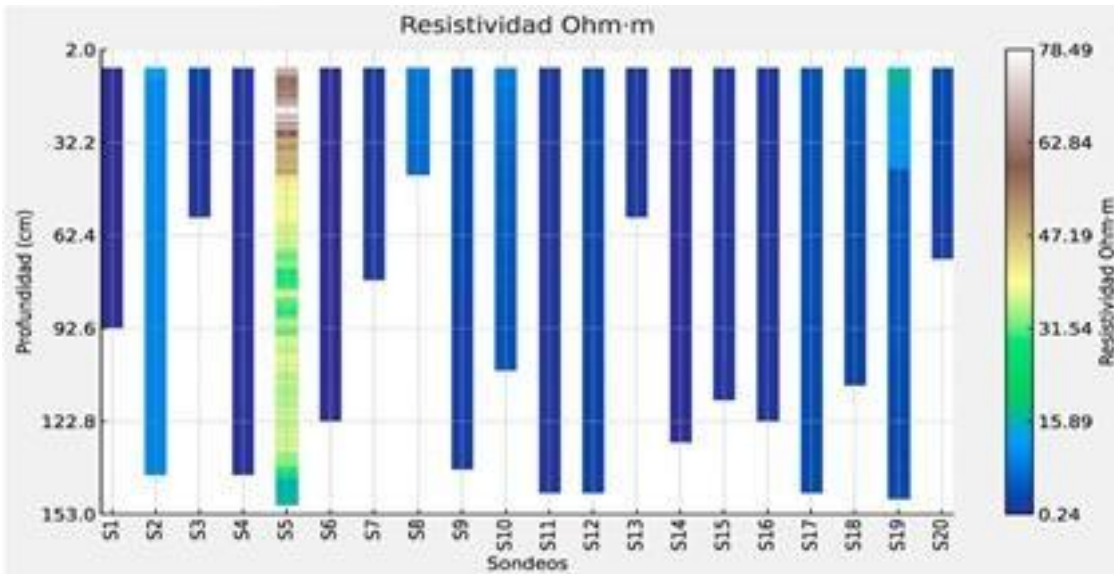


Figura 10: Ejemplo de la representación gráfica de la misma propiedad física en todos los testigos aplicando una escala de colores teniendo en cuenta los valores máximos y mínimos registrados. En este caso se representa la resistividad. El resto de propiedades se ilustran en el Anexo 5. Se ha confeccionado utilizando Inkscape V1.3.2.

3.2.2 Densidad (ρ) y porosidad (Φ).

Se obtuvieron 2130 registros de densidad (ρ) válidos. Los valores fluctúan entre $0,898 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (S9) y $2,703 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (S3), con una media general de $1,88 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. En perfiles como S3, S4 y S14 se observa una alta dispersión interna, mientras que S7, S9 y S10 muestran una distribución más homogénea. Solo el sondeo S3 alcanza valores próximos a $2,7 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, el resto se sitúa por debajo de $2,6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Los valores de porosidad (Φ) varían entre 3 % (S3) y 78 % (S9), con una media general de 50 % (desviación estándar de 11 %).

3.2.3 Susceptibilidad magnética

Los valores oscilan entre $-0,27$ y $46,09 \times 10^{-5} \text{ SI}$ (media = $6,29 \times 10^{-5} \text{ SI}$). El máximo se localizó en S5, seguido de valores elevados en S4, S7, S10 y S3. Los valores negativos más bajos aparecen en S18, S14 y S19. Los testigos S5, S4 y S7 muestran alta variabilidad interna, mientras que S13, S14 y S1 presentan registros más estables. Se detectan picos localizados entre 15 y 40 cm de profundidad en varios testigos, especialmente en S3 a S7 y S10.

3.2.4 Velocidad de ondas P e impedancia acústica:

Los valores de V_p van desde $35,95 \text{ m/s}$ hasta $1455,4 \text{ m/s}$ (S19). También se identificaron máximos relevantes en S3, S11, S4, S1 y S6. Algunos testigos, como S7 a S10, presentan valores bajos y muy constantes ($\sim 51 \text{ m/s}$), mientras que otros como S5 y S6 muestran contrastes internos marcados. En los primeros 20 cm de muchos testigos aparecen velocidades especialmente bajas ($< 40 \text{ m/s}$).

Los registros de impedancia oscilan entre $44,8$ y $3257,4 \text{ kg/m}^2\cdot\text{s}$, con el valor máximo en S19. También destacan S3, S11 y S4 con valores superiores a $700 \text{ kg/m}^2\cdot\text{s}$. Los valores más bajos se localizan en los tramos superiores de S1 a S6 ($50\text{--}70 \text{ kg/m}^2\cdot\text{s}$). En S7 a S10 los datos son estables ($\sim 80\text{--}90 \text{ kg/m}^2\cdot\text{s}$). Se identifican fuertes contrastes verticales en S3, S6, S14 y S19.

3.3 Identificación preliminar de niveles de tormenta

Debido a las alteraciones que generaban los sedimentos más finos en el análisis, se eliminaron todos los testigos que presentaban este tipo de depósitos. La aplicación del método multiproxy permitió detectar zonas discretas con anomalías físicas en los testigos MOLLY 5, 12, 14, 15 y 17. En total se identificaron 68 puntos con valores atípicos, los cuales, tras aplicar los filtros estratigráficos y eliminar huecos y extremos, se redujeron a aproximadamente una veintena de niveles plausibles. Estos niveles se caracterizan por picos de densidad superiores a $2,35 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, saltos de impedancia próximos a $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, incrementos de susceptibilidad magnética superiores a $12 \times 10^{-5} \text{ SI}$ y una disminución simultánea de la porosidad a valores iguales o menores de 40 %. Dependiendo de cada testigo, el análisis de niveles singulares que podrían ser depósitos de tipo *washover*, ha seleccionado un número diferente de tramos. Entre los testigos 15 y 17 se han encontrado un total de 4 niveles singulares, pero ninguno corresponde a los depósitos marcados como posibles *washover fans* según el criterio sedimentológico, aunque sí que representan cambios texturales asociados a otros fenómenos como sedimentación eólica.

En cambio, entre los testigos 5, 12 y 14 se han encontrado 16 niveles singulares. De estos 16 niveles, 11 corresponden a niveles que se habían identificado previamente como posibles niveles de tormenta según el criterio sedimentológico del autor del trabajo.

4. Discusión

4.1 Relaciones entre las propiedades físicas del sedimento

El análisis de correlaciones ha permitido establecer relaciones sistemáticas entre los distintos parámetros, todas ellas se muestran en la (Fig. 11).

Se confirma una relación inversa entre densidad y porosidad, esperada en sedimentos no consolidados. Del mismo modo, se observa una relación directa entre velocidad de ondas P e impedancia acústica.

La resistividad eléctrica presenta una tendencia a disminuir con la profundidad, lo que puede explicarse por un aumento en la saturación o en la proporción de sedimentos finos conductivos. Esta relación inversa también se ha observado en testigos con gradación vertical de granulometría. A su vez, los valores altos de conductividad en profundidad podrían reflejar zonas de acumulación de sales tras eventos de inundación marina, como los procesos de *overwash* o depósitos asociados a aguas salobres, fenómeno descrito en Chambers et al. (2009).

En algunos testigos, los picos de susceptibilidad magnética coinciden con máximos de densidad o conductividad, lo que sugiere una coincidencia de procesos deposicionales que favorecen la acumulación simultánea de minerales pesados y sedimentos finos.

El análisis cruzado de los parámetros físicos obtenidos en los testigos revela varias correlaciones que ayudan a comprender los procesos sedimentarios dominantes en las playas analizadas.

Una de las relaciones más evidentes es la correlación inversa entre densidad (ρ) y porosidad, coherente con los principios físicos de los sedimentos no consolidados. A mayor densidad, menor volumen de espacios intergranulares. Esta relación indica que los niveles caóticos más compactados, posiblemente relacionados con eventos de alta energía, tienen una menor capacidad de retención de agua y una estructura más consolidada.

También se observa una correlación inversa entre resistividad eléctrica y profundidad. En aproximadamente el 95 % de los casos, los valores más altos de resistividad se

localizan en los primeros centímetros de los testigos y disminuyen progresivamente con la profundidad. Esta distribución sugiere una mayor presencia de materiales secos o menos conductivos (como arenas limpias) en superficie, mientras que en profundidad predominan arcillas, limos o sedimentos saturados más conductores.

La conductividad eléctrica muestra una correlación directa con la presencia de sedimentos finos saturados, especialmente en capas más profundas.

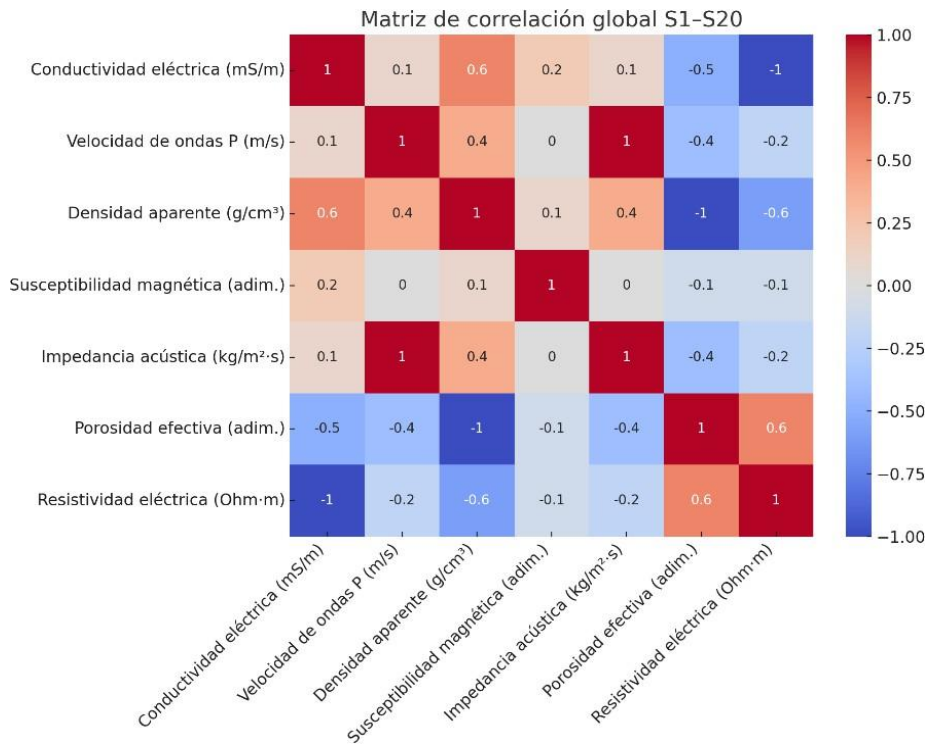


Figura 11: En esta figura se representa una matriz de relaciones entre los parámetros físicos estudiados en el conjunto de los 20 testigos (S1-S20). En tonos rojos se observan las relaciones directas y en azules las relaciones inversas. Se ha confeccionado utilizando Inkscape V1.3.2.

Asimismo, la velocidad de ondas P y la impedancia acústica presentan una relación directa, ya que esta última es el producto entre la densidad y la velocidad de propagación. Los valores más altos de ambos parámetros se concentran en capas compactadas, lo que sugiere fases deposicionales intensas, con un rápido reordenamiento del material sedimentario.

Por su parte, la susceptibilidad magnética muestra una correlación con el contenido mineralógico del sedimento y, en algunos casos, parece coincidir con picos de densidad o conductividad. Estos picos podrían indicar la presencia de minerales pesados o ferromagnéticos depositados durante eventos de alta energía, actuando como trazadores indirectos de tormentas costeras.

Estas correlaciones refuerzan la hipótesis de que algunos de los parámetros físicos estudiados pueden actuar como proxies eficientes para la identificación de depósitos de tormenta, permitiendo además discriminar entre diferentes tipos de sedimentos y condiciones de formación en el registro sedimentario reciente del litoral catalán.

4.2 Definición de las proxies idóneas

Los parámetros estudiados presentan diferencias significativas en su capacidad para actuar como indicadores primarios de depósitos de tormenta. Algunos proxies, como la resistividad, la conductividad eléctrica, presentan una variabilidad muy alta (se ha podido observar en los testigos Molly 6 y 7, que se encontraban en la misma ubicación), la porosidad y la velocidad de ondas P en superficie, muestran gran variabilidad, principalmente relacionada con la humedad, la salinidad intersticial o la presencia de huecos y bioturbación, por lo que resultan de fiabilidad limitada como indicadores únicos (Clifton, 1969; Chambers et al., 2009; Kongsen et al., 2021). Por el contrario, la densidad, la impedancia acústica y la susceptibilidad magnética han demostrado mayor coherencia vertical y correlación con bases erosivas y litologías de grano medio o grueso con matriz fina (Aigner, 1985; Gelfenbaum & Jaffe, 2007). Según Morton y Sallenger (2003), las tormentas extremas inducen procesos de *overwash* que erosionan cordones dunares y depositan sedimentos heterogéneos tierra adentro, formando capas con base neta, estructura caótica y gradación textural. Estas características morfológicas justifican la selección de proxies físicos como la densidad, la impedancia acústica y la velocidad de ondas P para detectar niveles de tormenta en registros litorales. Los máximos de densidad, superiores a $2,35 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, y saltos de impedancia cercanos a $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, junto con picos de susceptibilidad superiores a $12 \times 10^{-5} \text{ SI}$ y disminuciones de porosidad por debajo de 40 %, refuerzan la identificación de capas asociadas a eventos de *washover*. Este patrón de convergencia multiproxy, validado mediante la inspección estratigráfica de los testigos y coherente con los resultados de Sakuna-Schwartz et al. (2015), constituye un criterio robusto para discriminar tempestitas en ambientes litorales de alta energía. Gracias a la validación del análisis TAC, se ha conseguido correlacionar algunos de estos proxies con estructuras y morfologías propias de depósitos de *overwash*.

Las columnas sedimentarias interpretadas a partir de las imágenes de TAC revelan una gran variedad de estructuras, texturas y composiciones. En muchos testigos se han identificado capas con gradación positiva o inversa, estructuras erosivas, laminaciones internas y niveles caóticos. Estas características, cuando se asocian a cambios abruptos en los parámetros físicos, permiten identificar unidades sedimentarias susceptibles de haber sido generadas durante tormentas.

Los niveles compactados, las capas de alta densidad y baja porosidad, y los picos simultáneos en varios parámetros refuerzan la interpretación de depósitos de tormenta. Además, en ciertos testigos se observan estructuras de *washover* bien definidas, con bases netas, granulometría granocreciente de base a techo y alta cohesión interna. Se han observado diferentes morfologías de depósitos que se han atribuido a fenómenos de *overwash*, algunos de estos niveles comparten características similares en el registro sedimentológico, las estructuras atribuidas a estos fenómenos se representan en el (Anexo 3).

Según el criterio de autores como Morton y Sallenger (2003), uno de los registros que más condiciones cumple morfológicamente es el nivel entre los 15-20 centímetros del sondeo Molly 20 (Fig.5). Su morfología granodecreciente se interpreta como un proceso de *overwash* que sedimenta los granos de mayor tamaño en la base del tramo y los sedimentos finos en el techo por procesos de decantación en la zona deprimida e inundada que se realizó el sondeo. Como se han revisado la ortoimágenes pre- y post-temporal de los últimos 8 años, se ha podido comprobar que el único depósito de *overwash* que ha llegado a inundar esta área fue el generado durante el temporal Gloria de 2020. Por lo tanto, se puede inferir que el nivel mencionado del Molly 20 es el registro de un depósito de tipo *washover* de enero de 2020.

4.3 Aplicabilidad de la detección multiproxy

El uso combinado de parámetros físicos para identificar niveles de tormenta en registros sedimentarios litorales se confirma como una estrategia útil para superar las limitaciones inherentes a los métodos basados en un solo indicador. La correlación simultánea de variables independientes (como densidad aparente, impedancia acústica y susceptibilidad magnética) permite aislar con mayor precisión los tramos que muestran evidencias de compactación súbita, selección hidráulica o enriquecimiento mineralógico típicos de depósitos de overwash.

Este enfoque multiproxy aporta una ventaja clave: reduce la incertidumbre asociada a valores atípicos que pueden deberse a procesos no relacionados con tormentas, como la bioturbación, la diagenesis incipiente o variaciones hidrogeoquímicas locales. Así, la coincidencia de varios picos anómalos en una misma capa refuerza la hipótesis de que dicho nivel responde a un evento de alta energía, mejorando la fiabilidad del diagnóstico.

En términos prácticos, esta metodología abre la puerta a aplicar técnicas no destructivas de forma rutinaria en estudios de gestión costera y monitoreo de riesgos. Al no requerir la extracción de grandes volúmenes de muestra ni análisis destructivos extensos, se optimiza el tiempo de laboratorio y se minimiza la alteración de los registros sedimentarios. Además, la posibilidad de correlacionar capas guía a lo largo de perfiles distantes contribuye a una reconstrucción regional de la respuesta del litoral frente a tormentas, con implicaciones directas en la planificación de medidas de protección y en la actualización de modelos de vulnerabilidad.

Sin embargo, para consolidar esta herramienta como un estándar operativo, será necesario complementar estos análisis con dataciones precisas, estudios mineralógicos y validaciones en otros contextos geomorfológicos. La combinación de técnicas multiproxy con información cronológica robusta permitirá integrar de forma más realista los registros sedimentarios en modelos predictivos de evolución costera bajo escenarios de cambio climático y aumento de eventos extremos.

4.4 Limitaciones del estudio

Los resultados obtenidos constituyen una base sólida para entender mejor los sedimentos costeros mediante técnicas no destructivas, pero su uso presenta algunas limitaciones que conviene tener en cuenta. Dado que el análisis se basa en métodos indirectos como el MSCL y la TAC, no ha sido posible confirmar sobre el terreno la verdadera naturaleza de los niveles interpretados como posibles depósitos de tormenta. La falta de análisis más detallados, como dataciones, granulometría más fina o estudios mineralógicos, dificulta asegurar con certeza la interpretación de estos registros. Por otro lado, aunque la densidad aparente (ρ) ofrece información muy útil sobre el grado de compactación de los sedimentos, en algunos testigos (especialmente aquellos procedentes de zonas de humedal o antiguos *lagoons*) los niveles más profundos muestran valores bastante altos, que pueden llegar a $2,7 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, lo que puede inducir a errores y generar niveles falsos de tormenta. Además, la calidad de algunos testigos no siempre ha sido óptima: en varios casos se observaron huecos o deformaciones causadas durante la extracción, lo que complica la lectura continua del registro. También se exploraron valores extremos para ciertos parámetros, como la densidad, la impedancia, la porosidad, la velocidad de ondas o la susceptibilidad magnética, con la idea de identificar posibles niveles vinculados a tormentas de alta energía. Sin embargo, estos indicadores todavía deben considerarse como una propuesta preliminar que requiere ser validada con más estudios en el futuro. Por último, aunque se muestrearon playas de distintas zonas, el número y la longitud de los testigos recogidos no siempre

permiten reconstruir con detalle eventos tormentosos a escala regional o a lo largo de varias décadas. La dinámica de los sedimentos en estas zonas, su constante movilidad y la reconfiguración de la costa pueden hacer que no siempre se conserven registros completos de cada evento extremo.

La coincidencia entre los picos físicos y la granulometría permite sistematizar la detección de depósitos de tormenta en futuros sondeos. Resulta necesario complementar la información proporcionada, con dataciones, análisis geoquímicos (por ejemplo, contenido en carbonatos) y análisis detallados de microfauna para mejorar la interpretación sobre los procesos sedimentarios y su escala temporal.

5. Conclusiones

Los objetivos planteados al principio del trabajo se han alcanzado con éxito en su mayoría, demostrando la viabilidad del método multiproxy.

1. Validez de la aproximación multiproxy

La combinación de tomografía axial computarizada (TAC) y perfilado multisensor (MSCL) demostró ser una estrategia eficiente y no destructiva para caracterizar depósitos sedimentarios en ambientes litorales expuestos a tormentas. Los parámetros densidad aparente, impedancia acústica y susceptibilidad magnética destacan como los proxies más robustos para identificar niveles asociados a eventos de overwash, gracias a su coherencia interna y coincidencia con estructuras sedimentarias interpretadas.

2. Parámetros de soporte y contexto

La resistividad y la conductividad eléctrica muestran una alta dependencia de factores ambientales y por tanto son útiles como variables de contexto hidrogeoquímico, pero limitados como indicadores primarios de tormenta.

3. Aplicabilidad práctica y transferencia

El enfoque multiproxy propuesto optimiza la detección de depósitos de tormenta sin necesidad de recurrir a métodos destructivos, ofreciendo una herramienta aplicable a planes de gestión costera, seguimiento de riesgos y estudios de resiliencia de sistemas barrera y humedales.

4. Limitaciones y recomendaciones futuras

Los resultados deben interpretarse considerando la ausencia de dataciones cronológicas precisas y la posible influencia de factores locales (bioturbación, saturación variable). Se recomienda integrar futuras campañas con análisis granulométrico detallado, geoquímico y datación para validar y ampliar la capacidad predictiva de este enfoque.

5. Contribución a la gestión de riesgos

El método contribuye a generar información de base para reconstruir la historia de eventos extremos y evaluar la vulnerabilidad de sectores costeros, facilitando decisiones sobre infraestructuras de defensa y ordenación territorial en escenarios de cambio climático.

No obstante, se identifican áreas de mejora que requieren investigaciones complementarias para optimizar la precisión del diagnóstico y su aplicabilidad a contextos litorales diversos

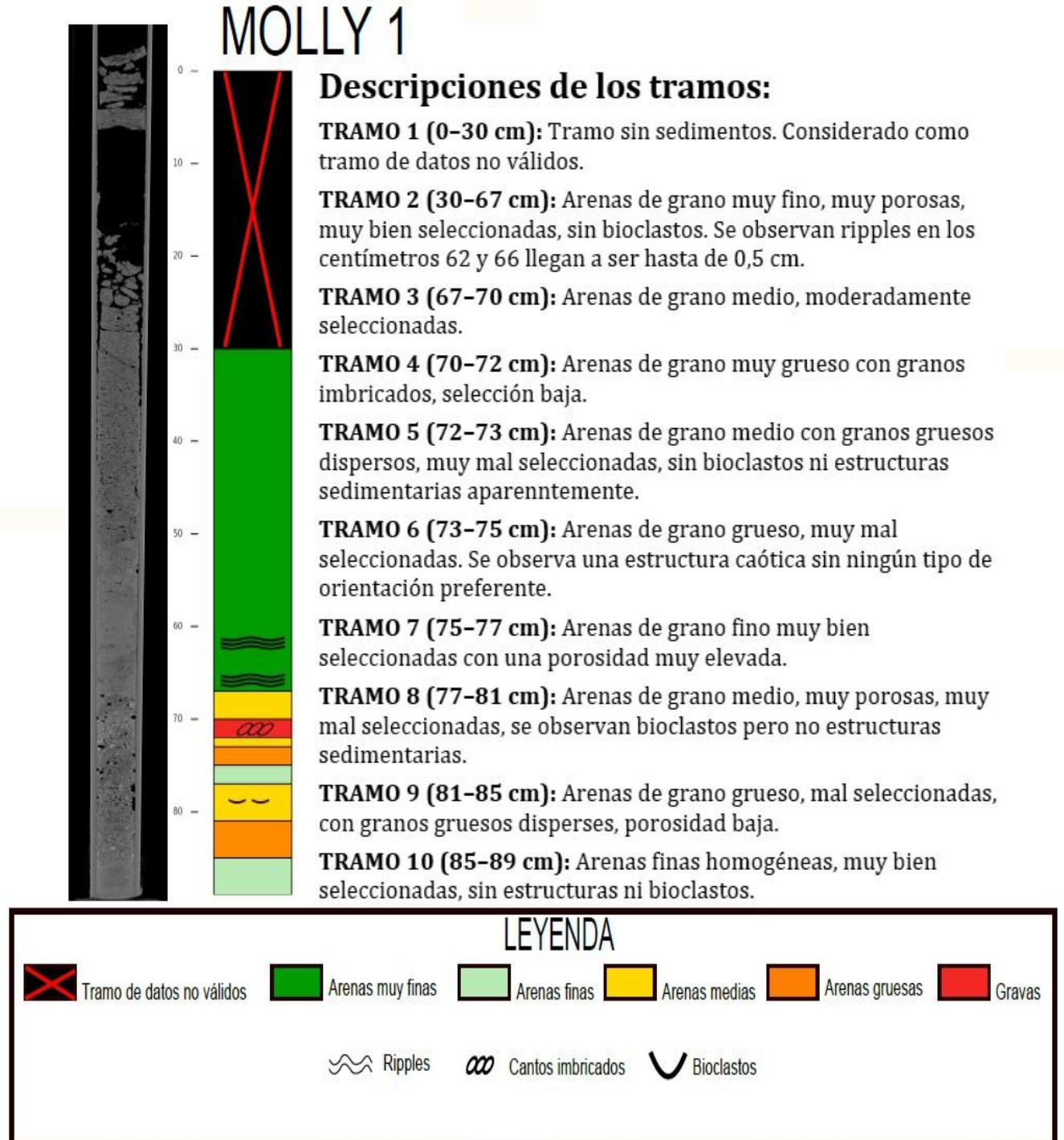
6. Bibliografía:

6. Aigner, T. (1985). *Storm Depositional Systems: Dynamic Stratigraphy in Modern and Ancient Shallow-Marine Sequences*. Springer-Verlag.
7. Amores, A., Marcos, M., Carrió, D. S., & Gómez-Pujol, L. (2020). Coastal impacts of storm Gloria (January 2020) in the northwestern Mediterranean. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20, 1955–1968. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-1955-2020>
8. Bachrach, R., & Nur, A. (1998). High-resolution shallow-seismic experiments in sand. Part II: Velocities in shallow unconsolidated sand. *Geophysics*, 63(4), 1234–1240. <https://doi.org/10.1190/1.1444396>
9. Cano, M. E., Cordova-Fraga, T., Sosa, M., Bernal-Alvarado, J., & Baffa, O. (2008). Understanding magnetic susceptibility measurements using an analytical scale. *European Journal of Physics*, 29(2), 345.
10. Chambers, J., Meldrum, P., Gunn, D., Wilkinson, P., Kuras, O., & Merritt, A. (2009). Hydrogeophysical imaging of moisture content beneath a road embankment. *Near Surface Geophysics*, 7(5–6), 311–322.
11. Clifton, H. E. (1969). Beach lamination: Nature and origin. *Marine Geology*, 7(6), 553–559. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(69\)90023-1](https://doi.org/10.1016/0025-3227(69)90023-1)
12. De Battisti, D. (2021). The resilience of coastal ecosystems: A functional trait-based perspective. *Journal of Ecology*, 109(9), 3133–3146.
13. D-maps.com. (s.f.). Mapas gratuitos. Recuperado de <https://d-maps.com/> (consultado el 03 de junio de 2025)
14. Frigola, J., Canals, M., Jouet, G., Dennielou, B., Berné, S., & Costa, V. (2015). Techniques for the non-destructive and continuous analysis of sediment cores. *Boletín Geológico y Minero*, 126(2–3), 609–634.
15. Geotek Ltd. (2020, 24 de noviembre). *Multi-Sensor Core Logger (MSCL-S)*. Recuperado de <https://www.geotek.co.uk/products/mscl-s> (consultado el 12 de mayo de 2025)
16. Gorgas, T. J., Wilkens, R. H., Fu, S. S., Frazer, L. N., Richardson, M. D., & Briggs, K. B. (2002). In-situ acoustic and laboratory ultrasonic sound speed and attenuation measured in heterogeneous soft seabed sediments: Eel River shelf, California. *Marine Geology*, 182(1–2), 103–119. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(01\)00230-4](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(01)00230-4)
17. Hamilton, E. L. (1972). Compressional-wave attenuation in marine sediments. *Geophysics*, 37(4), 620–646. <https://doi.org/10.1190/1.1440287>
18. Hrouda, F. (2011). Models of frequency-dependent susceptibility of rocks and soils revisited and broadened. *Geophysical Journal International*, 187(3), 1259–1269. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2011.05227.x>
19. Instituto Geográfico Nacional (IGN). (2023). Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). Recuperado de <https://pnoa.ign.es/> (consultado el 03 de junio de 2025)
20. Kongsen, S., Phantuwongraj, S., & Choowong, M. (2021). Distinguishing Late Holocene storm deposit from shore-normal beach sediments from the Gulf of Thailand. *Frontiers in Earth Science*, 9, Article 625926. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.625926>
21. La Vanguardia. (2020, 23 de enero). *Balance de la borrasca Gloria en Barcelona: playas y temporales*. Recuperado de <https://www.lavanguardia.com/participacion/las-fotos-de-los-lectores/20200123/473087611242/balance-borrasca-temporal-qloria-barcelona-playas.html> (consultado el 15 de junio de 2025).
22. Maher, B. A., & Thompson, R. (1999). *Quaternary Climates, Environments and Magnetism*. Cambridge University Press.
23. Marco-Méndez, C., Marbà, N., Amores, Á., Romero, J., Minguito-Frutos, M., García, M., ... & Alcoverro, T. (2024). Evaluating the extent and impact of the

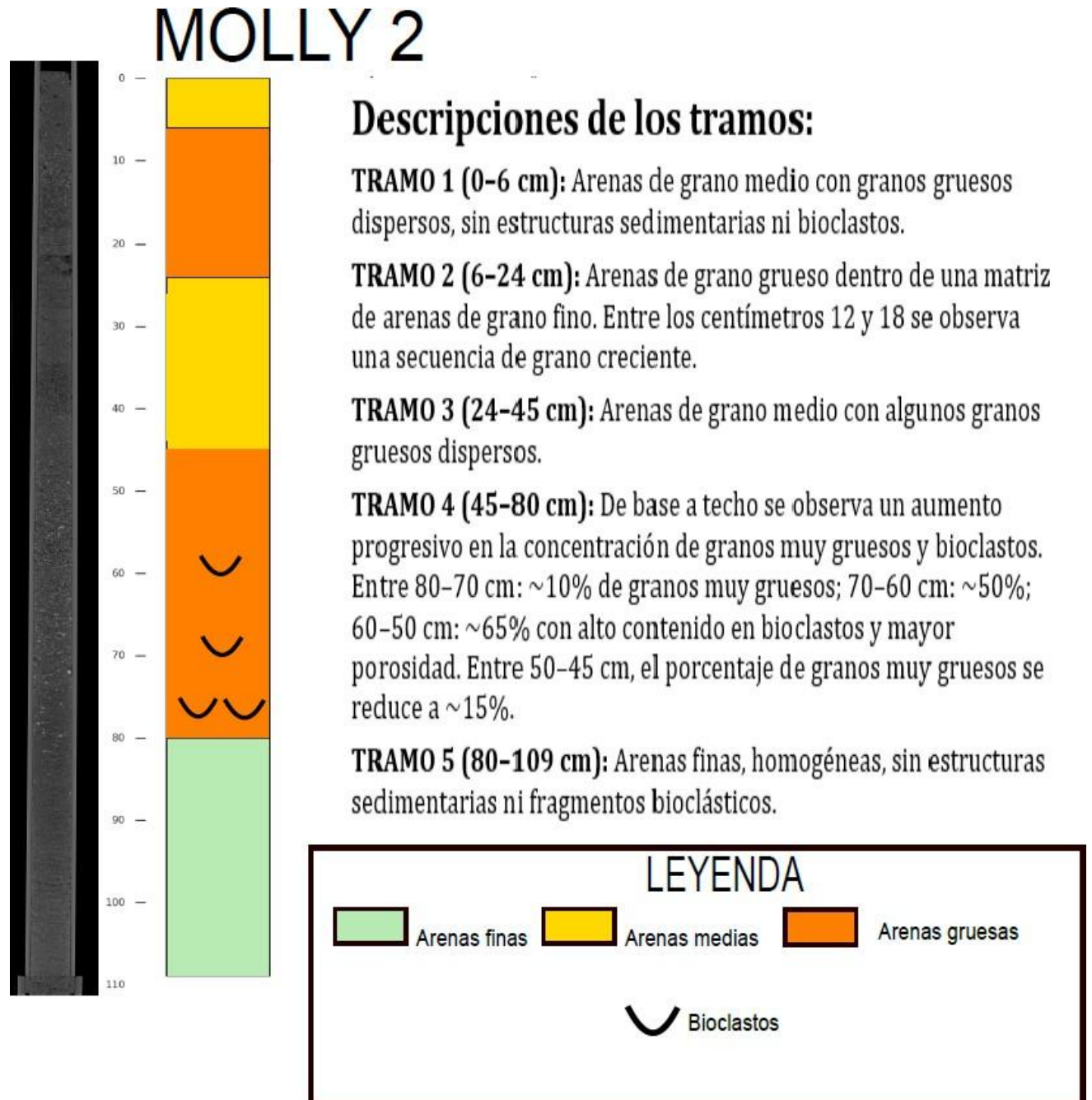
- extreme Storm Gloria on *Posidonia oceanica* seagrass meadows. *Science of The Total Environment*, 908, 168404.
24. Marzluff, E. M., Crawford, M. A., & Reynolds, H. (2011). Studying the kinetics of an SN1 reaction via conductivity measurements. *Journal of Chemical Education*, 88(11), 1586–1588.
 25. Morton, R. A., & Sallenger, A. H. (2003). Morphological impacts of extreme storms on sandy barrier islands. *Journal of Coastal Research*, 19(3), 560–573.
 26. Richardson, M. D., & Briggs, K. B. (1993). On the use of acoustic impedance and porosity in predicting the sound speed in marine sediments. *Journal of the Acoustical Society of America*, 94(4), 2057–2064.
 27. Sakuna-Schwartz, B., Tanaka, N., Sasaki, Y., & Sato, S. (2015). Multiproxy evidence for storm and tsunami deposits in the coastal lowlands of eastern Japan. *Sedimentary Geology*, 329, 61–73.
 28. Sheriff, R. E., & Geldart, L. P. (1995). *Exploration Seismology* (2nd ed.). Cambridge University Press.
 29. Watanabe, M., Goto, K., Roeber, V., & Imamura, F. (2021). Identification of coastal sand deposits from tsunamis and storm waves based on numerical computations. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 126(7). <https://doi.org/10.1029/2021JF006092>
 30. Wentworth, C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30(5), 377–392.

ANEXOS:

Anexo 1: En este apartado se adjuntan las imágenes proporcionadas por la Tomografía axial computarizada, la columna estratigráfica que se ha representado haciendo observaciones de las imágenes y una leyenda con los elementos necesarios en cada columna.

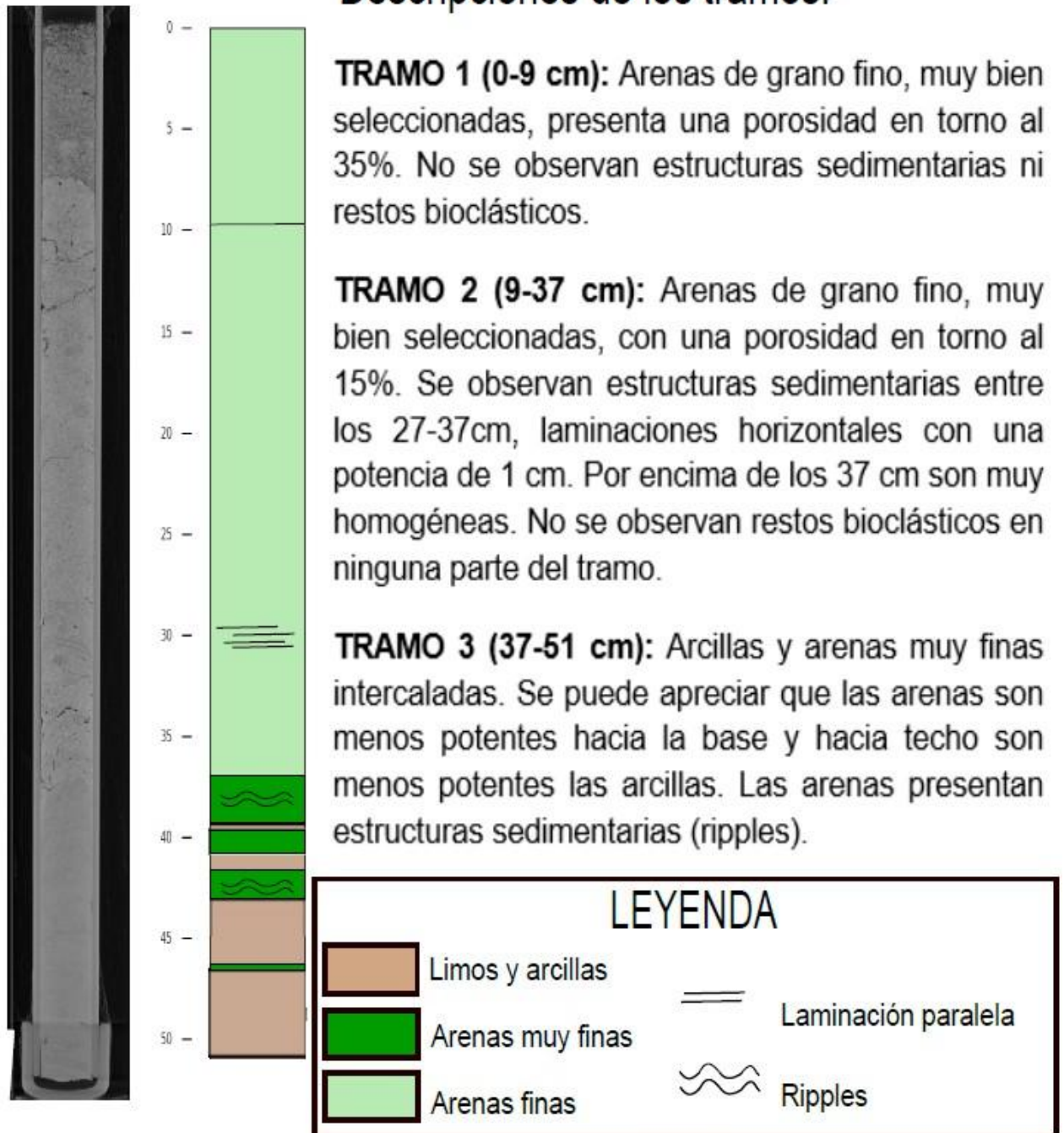


Anexo 1.1. Representación de la columna estratigráfica del Molly 1.



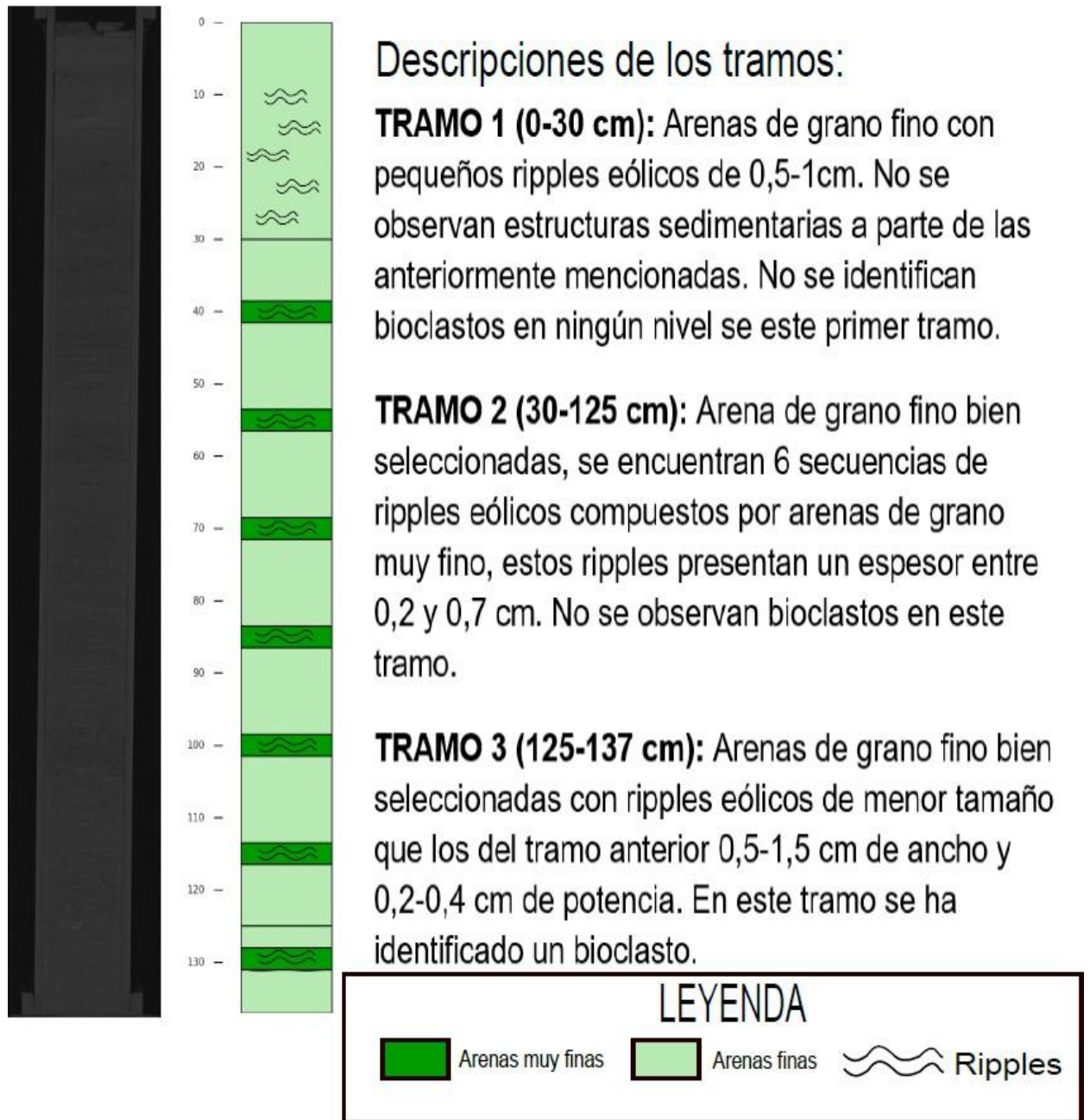
Anexo 1.2. Representación de la columna estratigráfica del Molly 2.

MOLLY 3



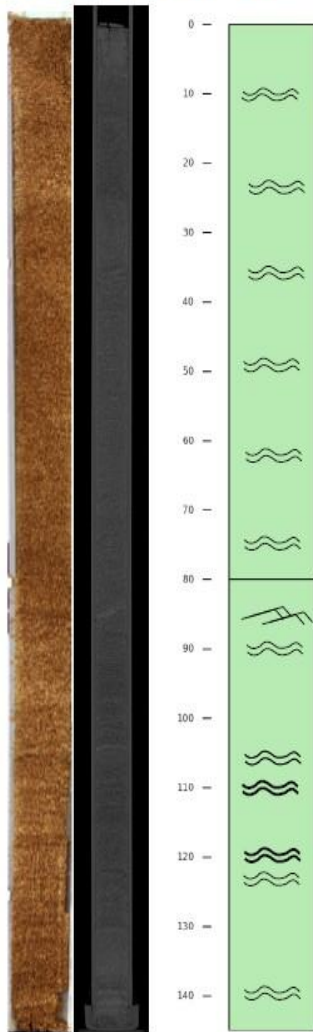
Anexo 1.3. Representación de la columna estratigráfica del Molly 3.

MOLLY 4



Anexo 1.4. Representación de la columna estratigráfica del Molly 4.

MOLLY 5



Descripciones de los tramos:

TRAMO 1 (0-80 cm): Arenas de grano fino bien seleccionadas con algún grano medio disperso. Estas arenas presentan bastantes ripples eólicos de tamaños que oscilan entre 0,2-0,4 cm de potencia y de 0,5-1cm de anchura, estos ripples se encuentran agrupados entre los cm 35 y 80 de profundidad. No se han identificado bioclastos en este tramo. Gracias a las fotografías que se han tomado a este sondeo se pueden distinguir tonalidades en distintos niveles de los tramos de este sondeo.

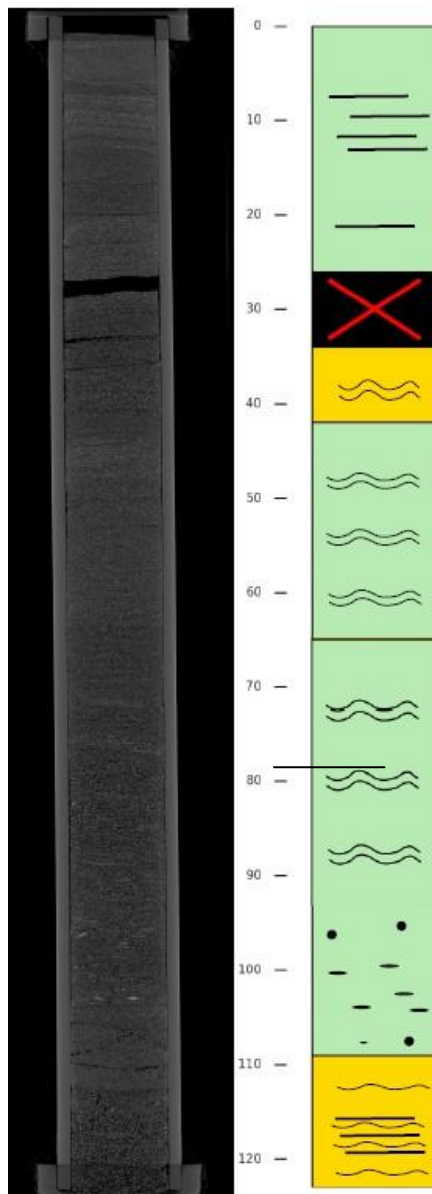
TRAMO 2 (80-145 cm): Arenas de grano fino bien seleccionadas. En este tramo se observan ripples eólicos mucho más marcados con tamaños que oscilan entre 0,8 y 1,9 cm. Entre los cm 80 y 90 del testigo se distingue una estructura con una morfología que recuerda a la de los "Climbing Ripples", esta estructura tiene una potencia de unos 3 cm. No se han observado bioclastos. En la imagen se puede observar una intercalación de capas finas con mayor contenido en materia orgánica.

LEYENDA



Anexo 1.5. Representación de la columna estratigráfica del Molly 5.

MOLLY 6



Descripciones de los tramos:

TRAMO 1 (0-26 cm): Arenas de grano fino bien seleccionadas. Entre los 0 y 7 cm se observan laminaciones horizontales muy marcadas de hasta 2 cm. Entre los 15 y 26 cm, las arenas son homogéneas y de grano fino.

TRAMO 2 (26-34 cm): Tramo de datos no válidos.

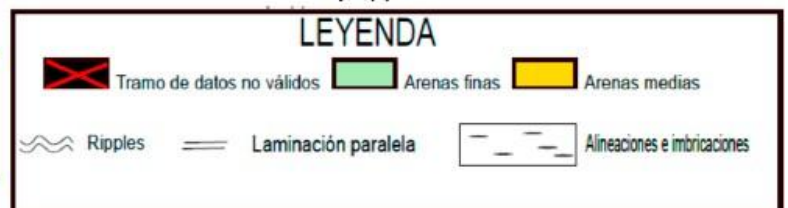
TRAMO 3 (34-42 cm): Arenas de grano fino con tres niveles de grano medio y ripples eólicos poco marcados.

TRAMO 4 (42-65 cm): Arenas de grano fino con ripples eólicos poco marcados.

TRAMO 5 (65-93 cm): Arenas de grano fino con ripples eólicos.

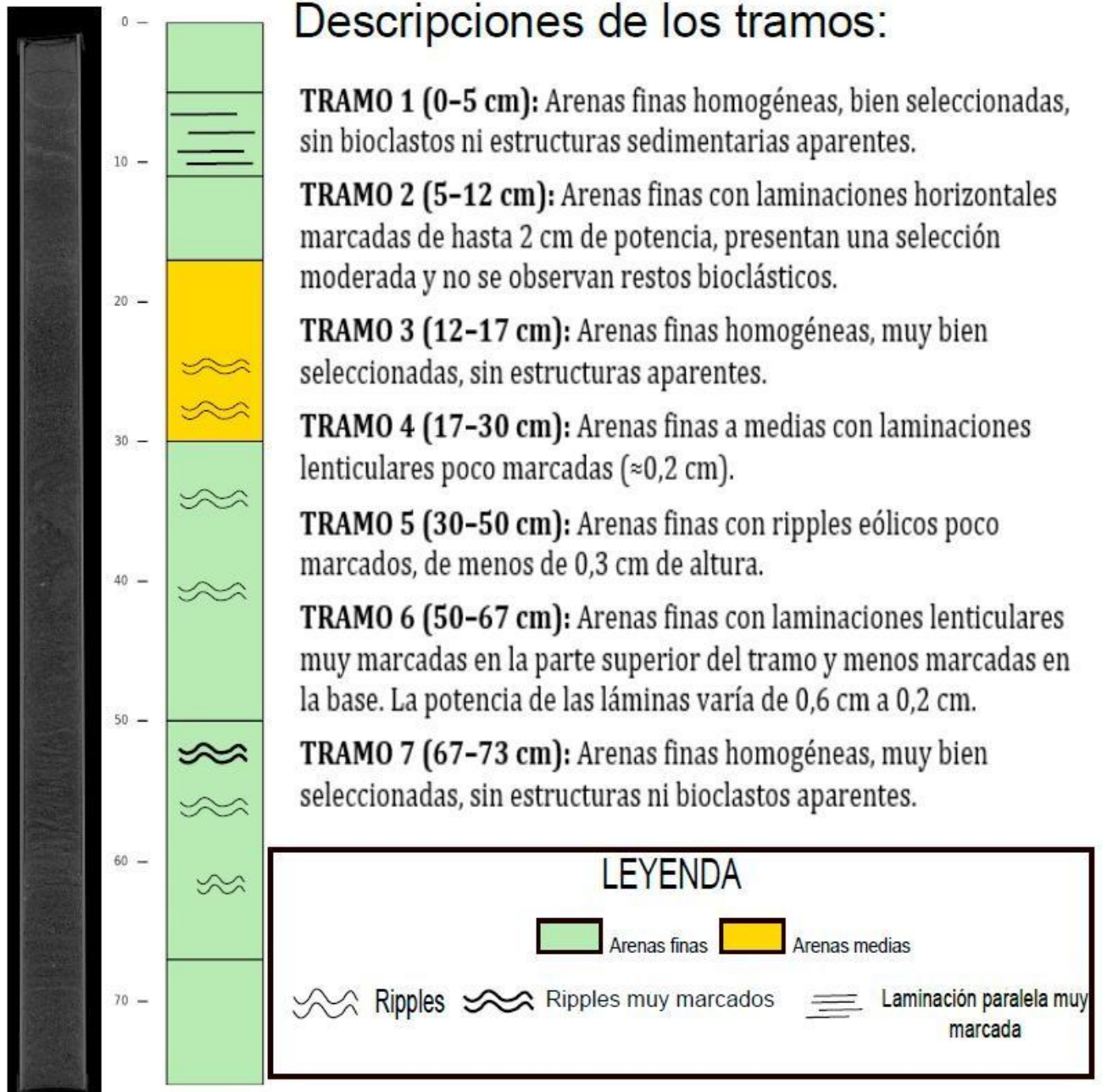
TRAMO 6 (93-109 cm): Arenas de grano fino con granos gruesos dispersos con orientaciones preferentes en las que el eje largo del grano se encuentra horizontalmente.

TRAMO 7 (109-123 cm): Arenas de grano medio con laminaciones horizontales y ripples.



Anexo 1.6. Representación de la columna estratigráfica del Molly 6.

MOLLY 7



Descripciones de los tramos:

TRAMO 1 (0-5 cm): Arenas finas homogéneas, bien seleccionadas, sin bioclastos ni estructuras sedimentarias aparentes.

TRAMO 2 (5-12 cm): Arenas finas con laminaciones horizontales marcadas de hasta 2 cm de potencia, presentan una selección moderada y no se observan restos bioclásticos.

TRAMO 3 (12-17 cm): Arenas finas homogéneas, muy bien seleccionadas, sin estructuras aparentes.

TRAMO 4 (17-30 cm): Arenas finas a medias con laminaciones lenticulares poco marcadas ($\approx 0,2$ cm).



TRAMO 5 (30-50 cm): Arenas finas con ripples eólicos poco marcados, de menos de 0,3 cm de altura.

TRAMO 6 (50-67 cm): Arenas finas con laminaciones lenticulares muy marcadas en la parte superior del tramo y menos marcadas en la base. La potencia de las láminas varía de 0,6 cm a 0,2 cm.

TRAMO 7 (67-73 cm): Arenas finas homogéneas, muy bien seleccionadas, sin estructuras ni bioclastos aparentes.

LEYENDA

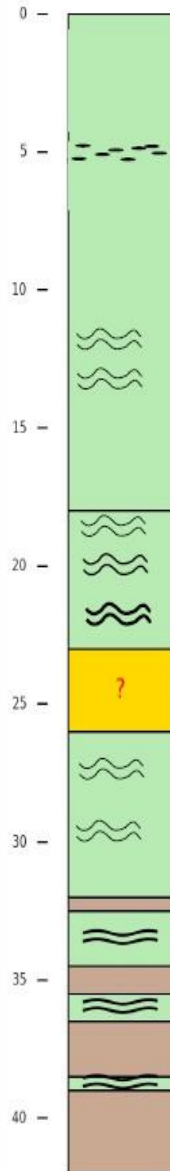
 Arenas finas  Arenas medias

 Ripples  Ripples muy marcados  Laminación paralela muy marcada

Anexo 1.7. Representación de la columna estratigráfica del Molly 7.

MOLLY 8

Descripciones de los tramos:



TRAMO 1 (0–5 cm): Arenas finas con granos gruesos dispersos, sin bioclastos ni estructuras sedimentarias aparentes, se observa muy poca porosidad para ser depósitos superficiales.

TRAMO 2 (6 cm): Nivel puntual con acumulación de granos e imbricaciones. Se observan bioclastos con el eje largo apoyado sobre superficies horizontales.

TRAMO 3 (7–18 cm): Arenas finas con ripples eólicos poco marcados, de hasta 0,2 cm.

TRAMO 4 (18–23 cm): Arenas finas con ripples eólicos marcados, de hasta 0,4 cm. En la base del tramo, los ripples son más potentes ($\approx 0,4$ cm) hacia el techo, más finos ($\approx 0,1$ cm).

TRAMO 5 (23–26 cm): Arenas de grano medio con estructura caótica y mala selección. Sin bioclastos.

TRAMO 6 (26–32 cm): Arenas finas con ripples eólicos finos y delgados, de hasta 0,2 cm.

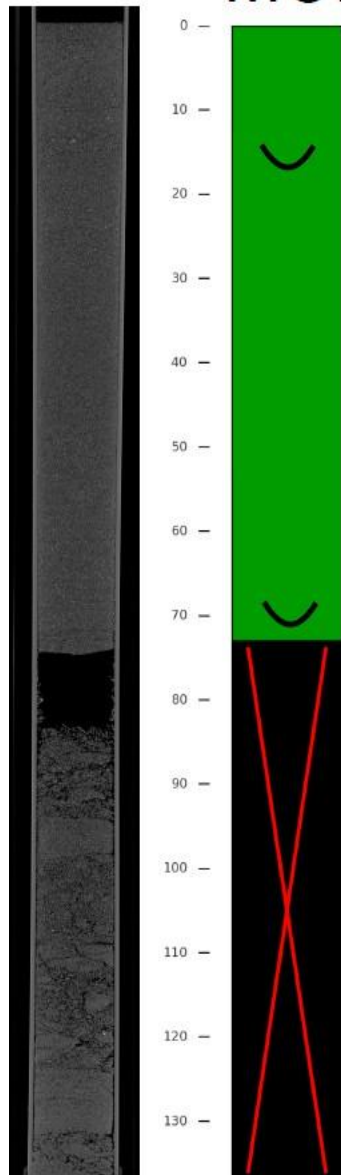
TRAMO 7 (32–40 cm): Intercalaciones de limos y areniscas. En la base predominan los limos, y hacia el techo, las arenas.

TRAMO 8 (40–42 cm): Limos muy homogéneos, sin estructuras visibles.



Anexo 1.8. Representación de la columna estratigráfica del Molly 8.

MOLLY 9



Descripciones de los tramos:

TRAMO 1 (0-73 cm): Arenas de grano muy fino, con niveles puntuales de grano medio a grueso en torno al centímetro 15. Se identifican bioclastos dispersos en torno a los centímetros 15 y 70.

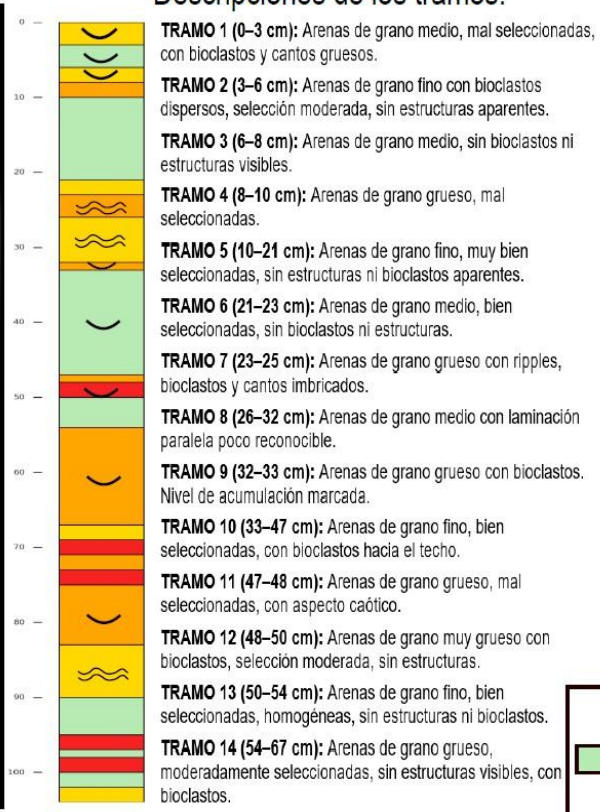
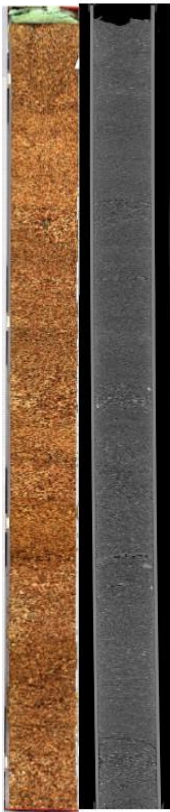
TRAMO 2 (73-137 cm): Tramo de datos no válidos debido a una alteración significativa del sedimento que impide su interpretación.



Anexo 1.9. Representación de la columna estratigráfica del Molly 9.

MOLLY 10

Descripciones de los tramos:

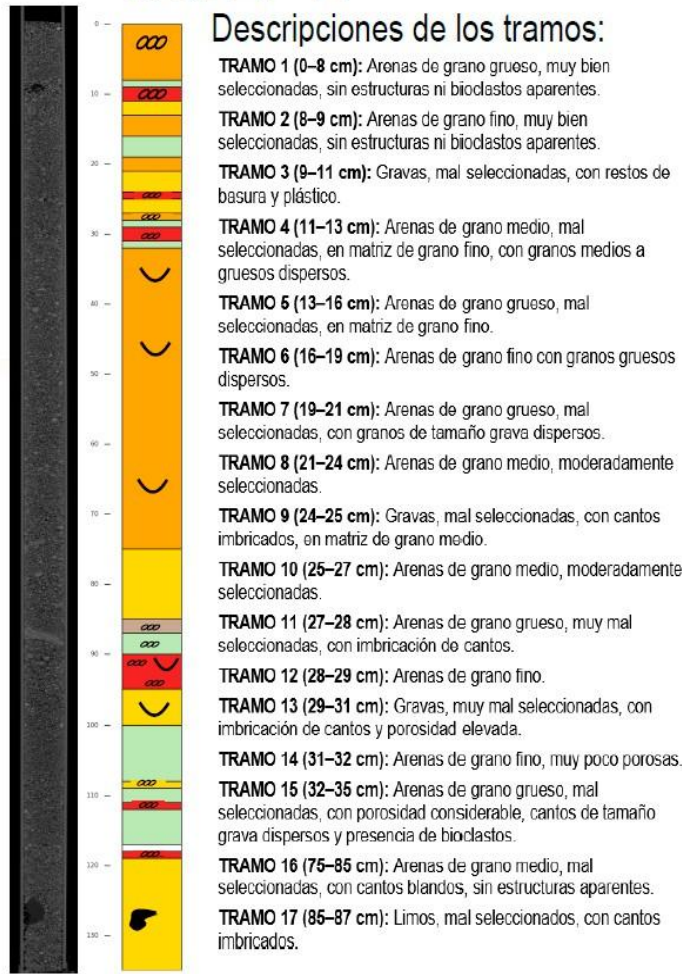


- TRAMO 15 (67–69 cm):** Arenas de grano medio, mal seleccionadas, sin estructuras identificables.
- TRAMO 16 (69–71 cm):** Gravas, mal seleccionadas, sin estructuras ni bioclastos.
- TRAMO 17 (71–73 cm):** Arenas de grano grueso, moderadamente seleccionadas, sin estructuras ni bioclastos.
- TRAMO 18 (73–75 cm):** Gravas, mal seleccionadas, sin bioclastos ni estructuras.
- TRAMO 19 (75–83 cm):** Arenas de grano grueso con gravas dispersas y bioclastos. Algunos granos imbricados.
- TRAMO 20 (83–90 cm):** Arenas de grano medio con laminaciones horizontales marcadas.
- TRAMO 21 (90–95 cm):** Arenas de grano fino, homogéneas, muy bien seleccionadas, sin estructuras ni bioclastos.
- TRAMO 22 (95–97 cm):** Gravas, mal seleccionadas, sin estructuras ni bioclastos.
- TRAMO 23 (97–98 cm):** Arenas de grano muy fino, muy bien seleccionadas, sin estructuras ni bioclastos.
- TRAMO 24 (98–100 cm):** Gravas, mal seleccionadas, sin estructuras ni bioclastos.
- TRAMO 25 (100–102 cm):** Arenas de grano fino, bien seleccionadas, sin estructuras ni bioclastos.
- TRAMO 26 (102–104 cm):** Arenas de grano medio, moderadamente seleccionadas, sin bioclastos ni estructuras aparentes.



Anexo 1.10. Representación de la columna estratigráfica del Molly 10.

MOLLY 11



- TRAMO 18 (87–96 cm):** Arenas de grano fino, muy porosas, con granos gruesos imbricados.
- TRAMO 19 (90–95 cm):** Gravas, muy mal seleccionadas, con bioclastos y cantos imbricados, muy porosas.
- TRAMO 20 (95–100 cm):** Arenas de grano medio, mal seleccionadas, con bioclastos intercalados.
- TRAMO 21 (100–108 cm):** Arenas de grano fino, mayoritariamente bien seleccionadas, sin estructuras ni bioclastos aparentes.
- TRAMO 22 (108–109 cm):** Arenas de grano medio a grueso, mal seleccionadas, con imbricación de cantos, muy porosas.
- TRAMO 23 (109–111 cm):** Arenas de grano fino, moderadamente seleccionadas.
- TRAMO 24 (111–112 cm):** Arenas de grano muy grueso, mal seleccionadas, muy porosas, con imbricación de cantos.
- TRAMO 25 (112–117 cm):** Intercalaciones de niveles similares a los tramos anteriores.
- TRAMO 26 (117–119 cm):** Arenas de grano muy grueso, poco seleccionadas, altamente porosas, con imbricación de cantos.
- TRAMO 27 (119–135 cm):** Arenas de grano medio a grueso, mal seleccionadas, con cantos blandos arrancados.

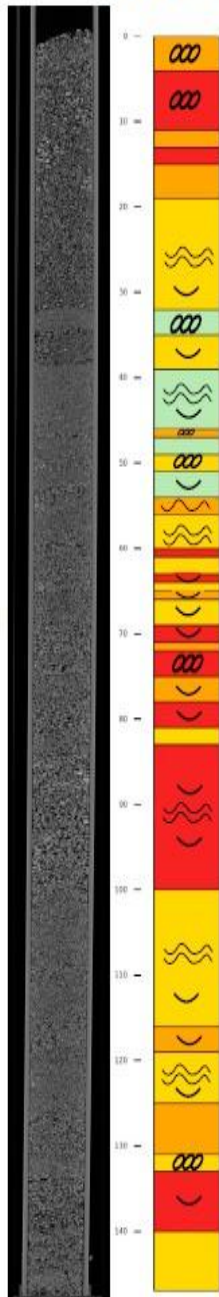
LEYENDA

	Limos y arcillas		Cantos blandos
	Arenas finas		Cantos imbricados
	Arenas medias		Bioclastos
	Arenas gruesas		
	Gravas		

Anexo 1.11. Representación de la columna estratigráfica del Molly 11.

MOLLY 12

Descripciones de los tramos:



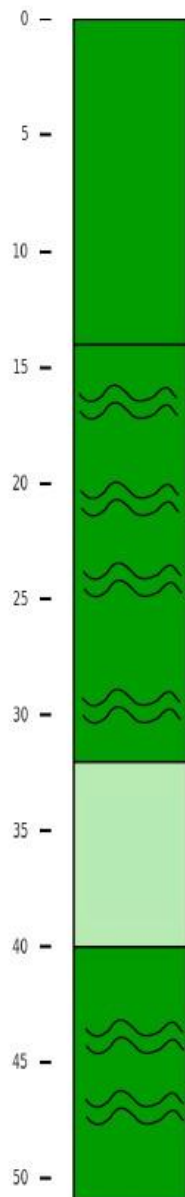
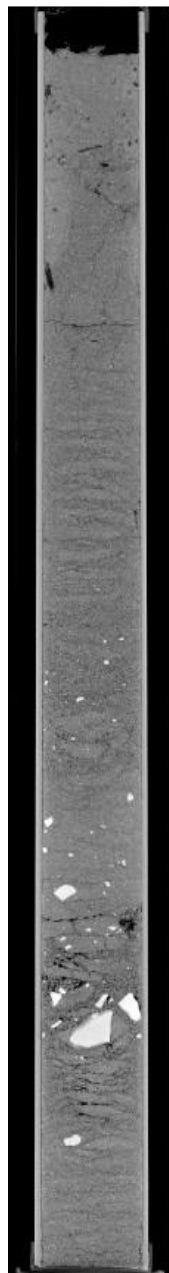
- TRAMO 1 (0–4 cm):** Arenas de grano grueso bastante bien seleccionadas con bioclastos y cantos imbricados.
- TRAMO 2 (4–11 cm):** Gravas mal seleccionadas muy porosas con cantos angulosos y redondeados, cantos imbricados, sin bioclastos ni estructuras sedimentarias aparentes.
- TRAMO 3 (11–13 cm):** Arenas de grano grueso mal seleccionadas.
- TRAMO 4 (13–15 cm):** Arenas de grano muy grueso mal seleccionadas.
- TRAMO 5 (15–19 cm):** Arenas de grano grueso mal seleccionadas.
- TRAMO 6 (19–32 cm):** Arenas de grano medio muy bien seleccionadas con restos bioclásticos. Se observan un par de laminaciones horizontales.
- TRAMO 7 (32–34 cm):** Arenas de grano fino con un pequeño nivel de acumulación de cantos de grano medio de 0,5 cm.
- TRAMO 8 (34–39 cm):** Arenas de grano medio muy porosas con algún bioclasto intercalado.
- TRAMO 9 (39–46 cm):** Arenas de grano fino muy bien seleccionadas con ripples y cantos de grano medio imbricados.
- TRAMO 10 (46–47 cm):** Arenas de grano grueso con cantos imbricados y mucha porosidad.
- TRAMO 11 (47–49 cm):** Arenas de grano fino moderadamente seleccionadas.
- TRAMO 12 (49–51 cm):** Arenas de grano medio con bioclastos, muy mal seleccionadas, con cantos gruesos imbricados.
- TRAMO 13 (51–54 cm):** Arenas de grano fino moderadamente seleccionadas con bioclastos intercalados.
- TRAMO 14 (54–56 cm):** Arenas de grano grueso mal seleccionadas con ripples, bioclastos y cantos redondeados.
- TRAMO 15 (56–60 cm):** Arenas de grano medio muy bien seleccionadas con laminaciones horizontales marcadas.
- TRAMO 16 (60–61 cm):** Arenas de grano grueso y gravas con bioclastos, selección moderada y granos redondeados.

- TRAMO 17 (61–63 cm):** Arenas de grano medio muy bien seleccionadas.
- TRAMO 18 (63–64 cm):** Arenas de grano muy grueso con bioclastos, selección moderada y granos redondeados.
- TRAMO 19 (64–65 cm):** Arenas de grano medio muy bien seleccionadas.
- TRAMO 20 (65–66 cm):** Gravas con granos redondeados, selección moderada y bioclastos intercalados.
- TRAMO 21 (66–69 cm):** Arenas de grano medio, redondeadas, bien seleccionadas y con bioclastos.
- TRAMO 22 (69–72 cm):** Gravas con bioclastos, granos redondeados, porosidad considerable y selección muy mala.
- TRAMO 23 (72–73 cm):** Arenas de grano grueso mal seleccionadas.
- TRAMO 24 (73–75 cm):** Gravas con selección moderada, cantos imbricados y formas redondeadas.
- TRAMO 25 (75–78 cm):** Arenas de grano grueso moderadamente seleccionadas con granos redondeados y bioclastos.
- TRAMO 26 (78–81 cm):** Arenas de grano muy grueso, moderadamente seleccionadas con bioclastos.
- TRAMO 27 (81–83 cm):** Arenas de grano medio bien seleccionadas.
- TRAMO 28 (83–100 cm):** Gravas moderadamente seleccionadas con granos subangulosos, bastante porosas, sin bioclastos, con ripples y cantos imbricados.
- TRAMO 29 (100–116 cm):** Arenas de grano medio con niveles de acumulación de grano grueso. Se observan ripples y bioclastos.
- TRAMO 30 (116–119 cm):** Arenas de grano grueso bien seleccionadas con bioclastos.
- TRAMO 31 (119–125 cm):** Arenas de grano medio con laminaciones horizontales, muy bien seleccionadas, sin bioclastos aparentes.
- TRAMO 32 (125–131 cm):** Arenas de grano grueso, moderadamente seleccionadas, muy porosas, sin bioclastos y estructuras aparentes.
- TRAMO 33 (131–133 cm):** Arenas de grano medio con selección muy baja, cantos imbricados y bioclastos.
- TRAMO 34 (133–144 cm):** Gravas con baja selección, muy porosas y con bioclastos.
- TRAMO 35 (144–147 cm):** Arenas de grano medio mal seleccionadas con matriz de grano muy fino y porosidad elevada.



Anexo 1.12. Representación de la columna estratigráfica del Molly 12.

MOLLY 13



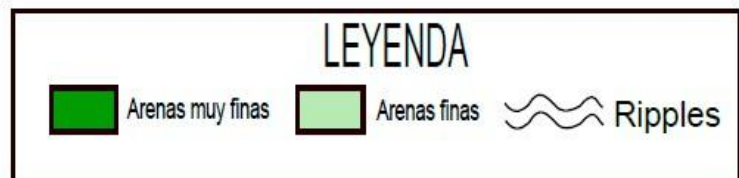
Descripciones de los tramos:

TRAMO 1 (0-14 cm): Arenas de grano muy fino, muy bien seleccionadas, sin porosidad y prácticamente sin estructuras internas.

TRAMO 2 (14-32 cm): Arenas de grano muy fino con ripples de hasta 0,8 cm. En la base de este tramo se observa algún canto disperso.

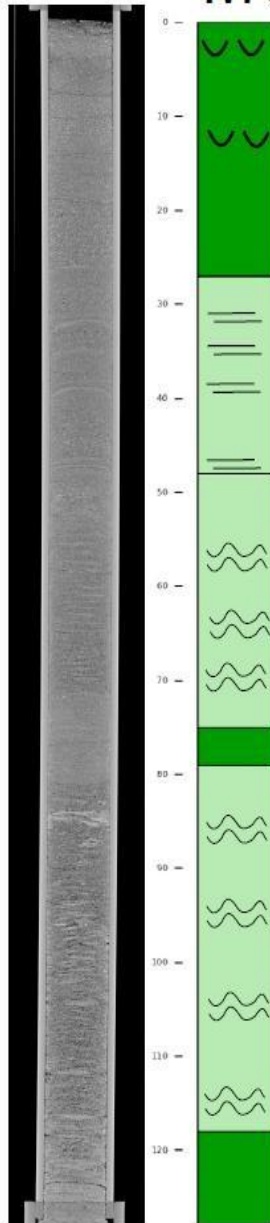
TRAMO 3 (32-40 cm): Arenas de grano fino con granos dispersos y ripples de 1 cm, son arenas menos porosas que las de los tramos superiores.

TRAMO 4 (40-51 cm): Arenas de grano muy fino con ripples de 0,6 cm de media y fragmentos de cantos muy angulosos.



Anexo 1.13. Representación de la columna estratigráfica del Molly 13.

MOLLY 14



Descripciones de los tramos:

TRAMO 1 (0-27 cm): Arenas de grano muy fino, muy bien seleccionadas, con bioclastos y sin estructuras aparentes.

TRAMO 2 (27-48 cm): Arenas de grano fino con laminaciones horizontales y secuencias grano crecientes.

TRAMO 3 (48-75 cm): Arenas de grano fino, muy bien seleccionadas, con numerosos ripples.

TRAMO 4 (75-79 cm): Arenas de grano muy fino, sin estructuras ni bioclastos, muy bien seleccionadas.

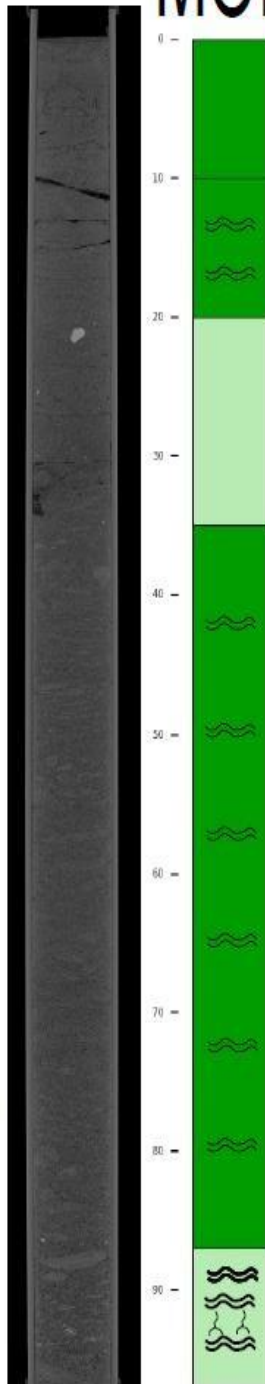
TRAMO 5 (79-118 cm): Arenas de grano fino con numerosos ripples, con bastante porosidad y selección buena o moderada.

TRAMO 6 (118-128 cm): Arenas de grano muy fino con muy poca porosidad.



Anexo 1.14. Representación de la columna estratigráfica del Molly 14.

MOLLY 15



Descripciones de los tramos:

TRAMO 1 (0-10 cm): Arenas de grano muy fino, bien seleccionadas, sin estructuras, y con muy baja porosidad.

TRAMO 2 (10-20 cm): Arenas de grano muy fino con laminaciones horizontales marcadas de hasta.

TRAMO 3 (20-35 cm): Arenas de grano fino, muy bien seleccionadas, con algún grano grueso y medio disperso.

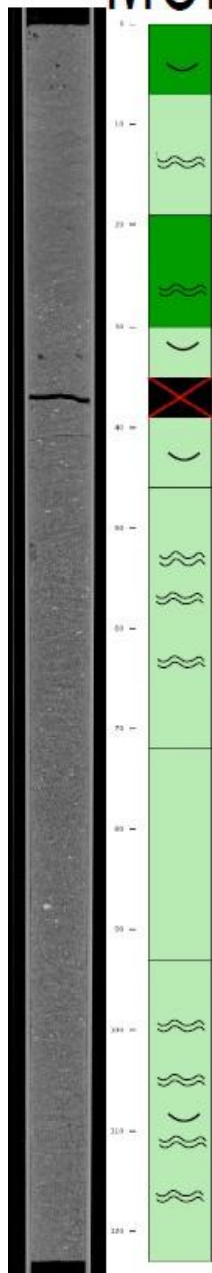
TRAMO 4 (35-87 cm): Arenas de grano muy fino con muchos ripples de pequeño tamaño hasta 0,4 cm.

TRAMO 5 (87-97 cm): Arenas de grano fino con ripples de mayor tamaño (hasta 2 cm) con raíces dispersas por la base del tramo inferior.



Anexo 1.15. Representación de la columna estratigráfica del Molly 15.

MOLLY 16



Descripciones de los tramos:

TRAMO 1 (0-7 cm): Arenas de grano muy fino, moderadamente seleccionadas, sin estructuras, con bioclastos y granos dispersos de morfología redondeada.

TRAMO 2 (7-19 cm): Arenas de grano fino con seis niveles de ripples en forma de cremallera, bien seleccionadas.

TRAMO 3 (19-30 cm): Arenas de grano muy fino con ripples de grano fino; en la parte superior más estrechos y delgados y en la inferior más anchos y gruesos.

TRAMO 4 (30-35 cm): Arenas de grano fino bien seleccionadas con bioclastos y sin estructuras.

TRAMO 5 (35-39 cm): Tramo de datos no válidos.

TRAMO 6 (39-46 cm): Arenas de grano fino mal seleccionadas con bioclastos y cantos dispersos de morfología redondeada.

TRAMO 7 (46-72 cm): Arenas de grano fino con numerosas estructuras de ripples y numerosos bioclastos.

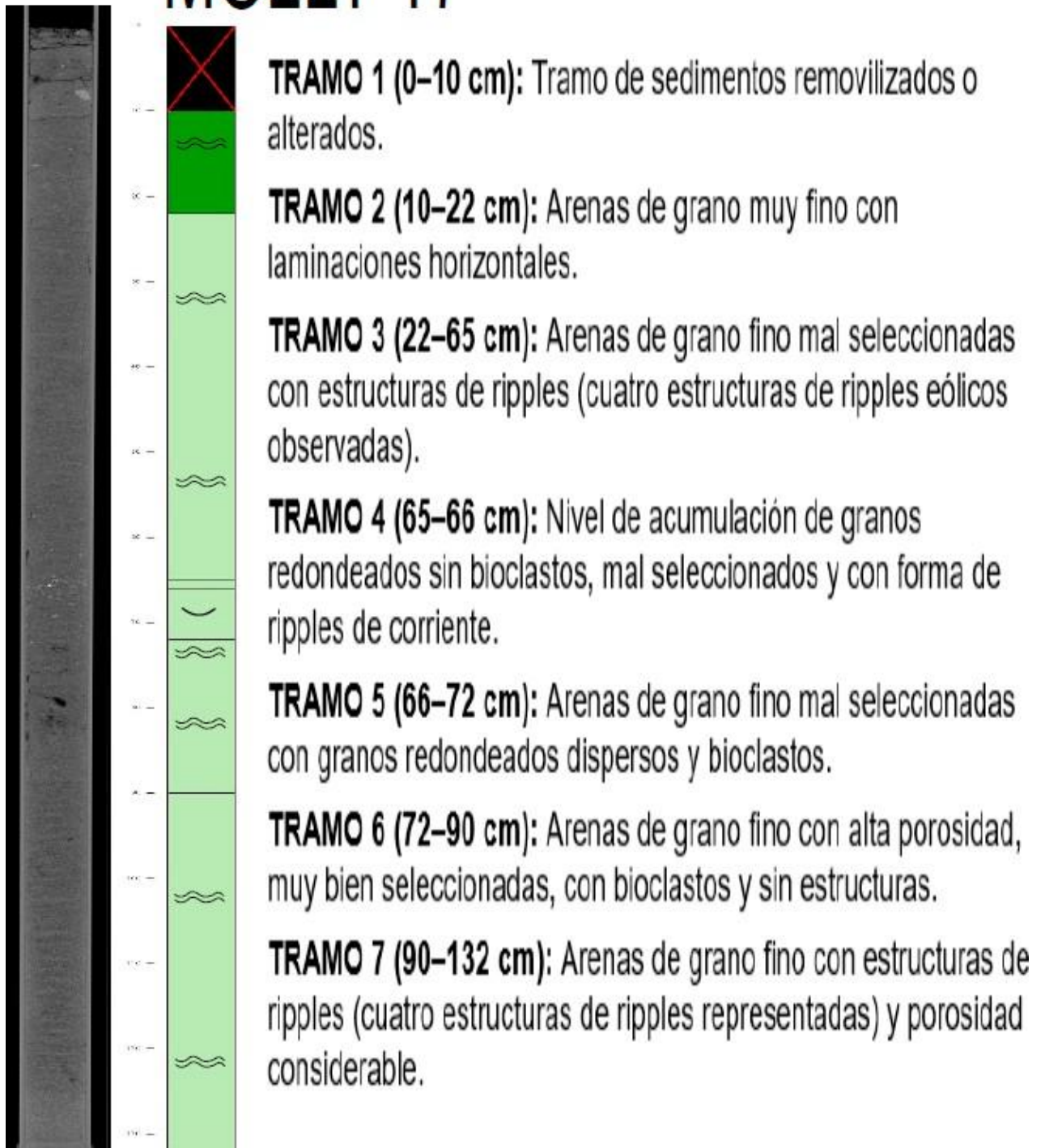
TRAMO 8 (72-93 cm): Arenas de grano fino mal seleccionadas con granos redondeados sin estructuras visibles.

TRAMO 9 (93-123 cm): Arenas de grano fino con numerosas estructuras de ripples, mal seleccionadas, con granos dispersos de morfología redondeada y algún bioclasto.



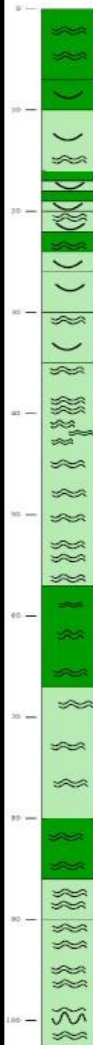
Anexo 1.16. Representación de la columna estratigráfica del Molly 16.

MOLLY 17



Anexo 1.17. Representación de la columna estratigráfica del Molly 17.

MOLLY 18



Descripciones de los tramos:

- TRAMO 1 (0–7 cm):** Arenas de grano muy fino, moderadamente seleccionadas, sin estructuras aparentes, con cantos dispersos y muy poca porosidad.
- TRAMO 2 (7–10 cm):** Arenas de grano muy fino, bien seleccionadas, con estructuras muy pequeñas de ripples y presencia de algún bioclasto.
- TRAMO 3 (10–16 cm):** Arenas de grano fino, mal seleccionadas, con bioclastos y ripples.
- TRAMO 4 (16–17 cm):** Arenas de grano muy fino, muy bien seleccionadas y homogéneas.
- TRAMO 5 (17–18 cm):** Arenas de grano fino, moderadamente seleccionadas, con bioclastos y bastante homogéneas.
- TRAMO 6 (18–19 cm):** Arenas de grano muy fino, homogéneas.
- TRAMO 7 (19–20 cm):** Arenas de grano fino, moderadamente seleccionadas, con bioclastos.
- TRAMO 8 (20–22 cm):** Arenas de grano fino, bien seleccionadas, con bioclastos y mayor porosidad.
- TRAMO 9 (22–24 cm):** Arenas de grano muy fino, homogéneas, muy bien seleccionadas, con ripples.
- TRAMO 10 (24–26 cm):** Arenas de grano fino, bien seleccionadas, con bioclastos y algo de porosidad.

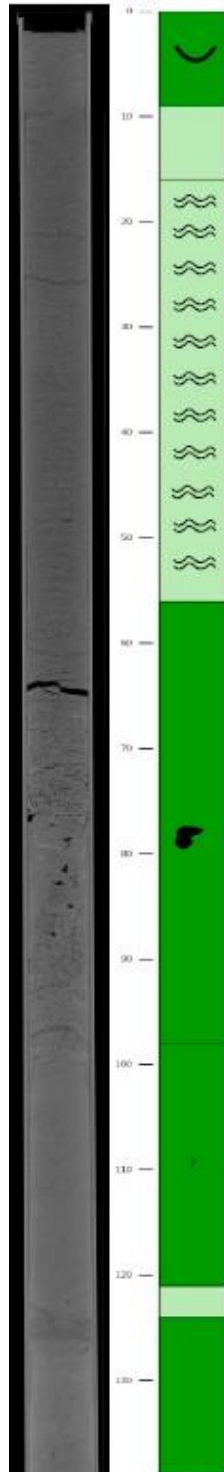
- TRAMO 11 (26–30 cm):** Arenas de grano fino, moderadamente seleccionadas, con bioclastos y sin estructuras visibles.
- TRAMO 12 (30–35 cm):** Arenas de grano fino, moderadamente seleccionadas, con un bioclasto de 1,5 cm y sin porosidad aparente.
- TRAMO 13 (35–57 cm):** Arenas de grano fino con muchas estructuras de ripples de tamaños variados, moderadamente seleccionadas, con porosidad considerable y niveles de acumulación de arenas de grano fino/medio.
- TRAMO 14 (57–67 cm):** Arenas de grano muy fino, con menor porosidad y estructuras de ripples. Sin bioclastos.
- TRAMO 15 (67–80 cm):** Arenas de grano fino y muy fino, con estructuras de ripples, muy bien seleccionadas, sin bioclastos, porosidad similar a la del tramo 35–47.
- TRAMO 16 (80–86 cm):** Arenas de grano muy fino con alguna laminación horizontal, bien seleccionadas.
- TRAMO 17 (86–90 cm):** Arenas de grano fino con estructuras de ripples muy pequeñas, porosidad considerable, muy bien seleccionadas, sin bioclastos.
- TRAMO 18 (90–103 cm):** Arenas de grano fino con muchas estructuras de ripples desalineadas en la horizontal, de múltiples tamaños, y con porosidad algo menor que la del tramo anterior.

LEYENDA

Tramo de datos no válidos	Arenas muy finas	Arenas finas
Bioclastos	Ripples	

Anexo 1.18. Representación de la columna estratigráfica del Molly 18.

MOLLY 19



Arena muy fina, moderadamente seleccionada, con bioclastos, granos finos dispersos, muy poca porosidad, sin estructuras.

TRAMO 1 (0–9 cm): Arenas de grano muy fino, moderadamente seleccionadas, con granos dispersos, bioclastos, muy poca porosidad y sin estructuras.

TRAMO 2 (9–16 cm): Arenas de grano fino, muy bien seleccionadas, con algunos granos ligeramente mayores, sin estructuras visibles.

TRAMO 3 (16–56 cm): Arenas de grano fino, muy bien seleccionadas, sin granos dispersos, con numerosos ripples pequeños y poca porosidad.

TRAMO 4 (56–98 cm): Arenas de grano muy fino, muy bien seleccionadas, con alta porosidad, cantos blandos dispersos y sin estructuras.

TRAMO 5 (98–121 cm): Arenas de grano muy fino, muy bien seleccionadas, sin cantos dispersos ni estructuras visibles, con estructuras de bioturbación.

TRAMO 6 (121–124 cm): Arenas de grano fino con nivel que podría considerarse de materia orgánica, grano muy fino y estructuras no identificables.

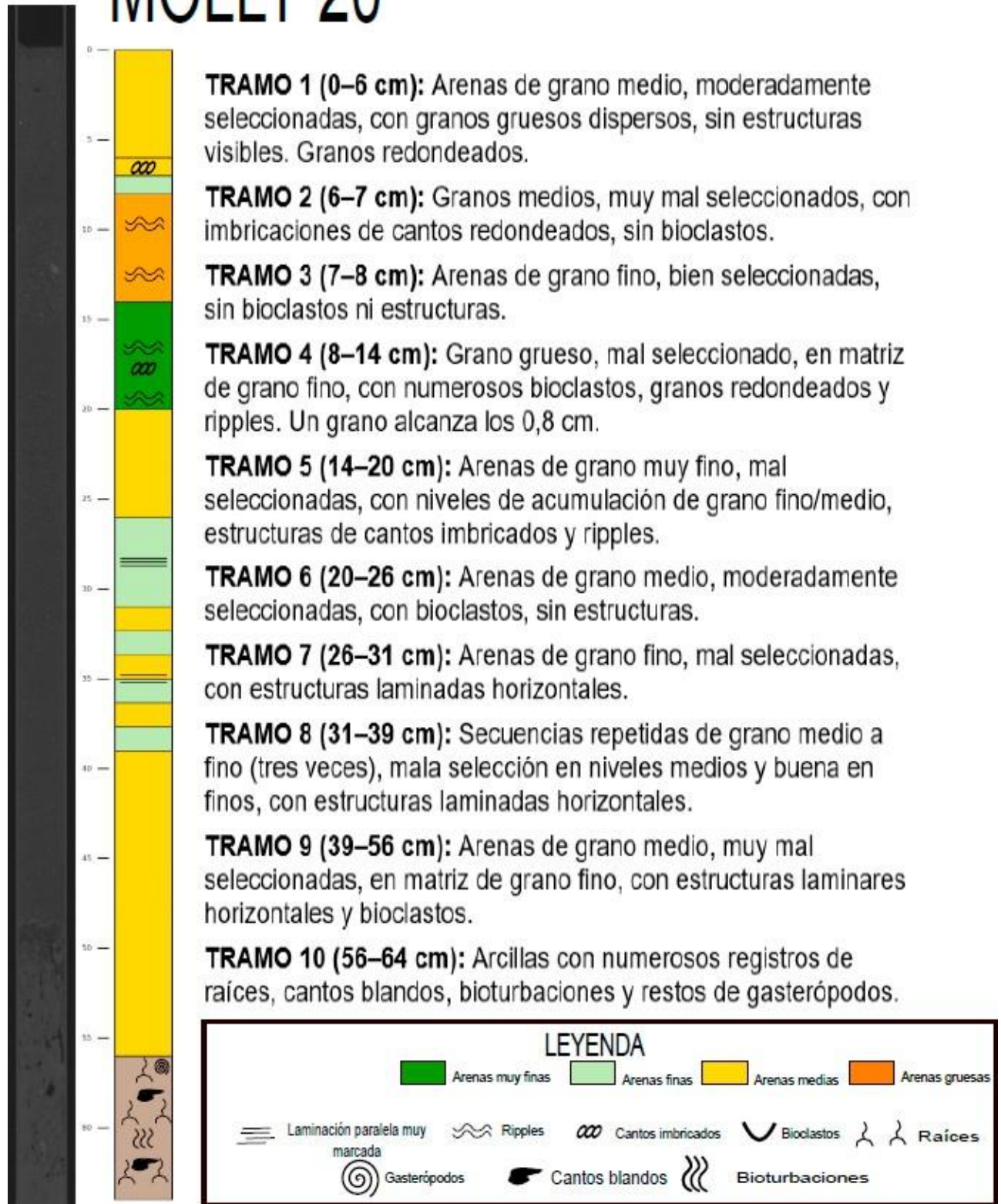
TRAMO 7 (124–139 cm): Arenas de grano muy fino, muy bien seleccionadas, sin estructuras aparentes.

LEYENDA

Tramo de datos no válidos	Arenas muy finas	Arenas finas
Bioclastos	Ripples	Cantos blandos

Anexo 1.19. Representación de la columna estratigráfica del Molly 19.

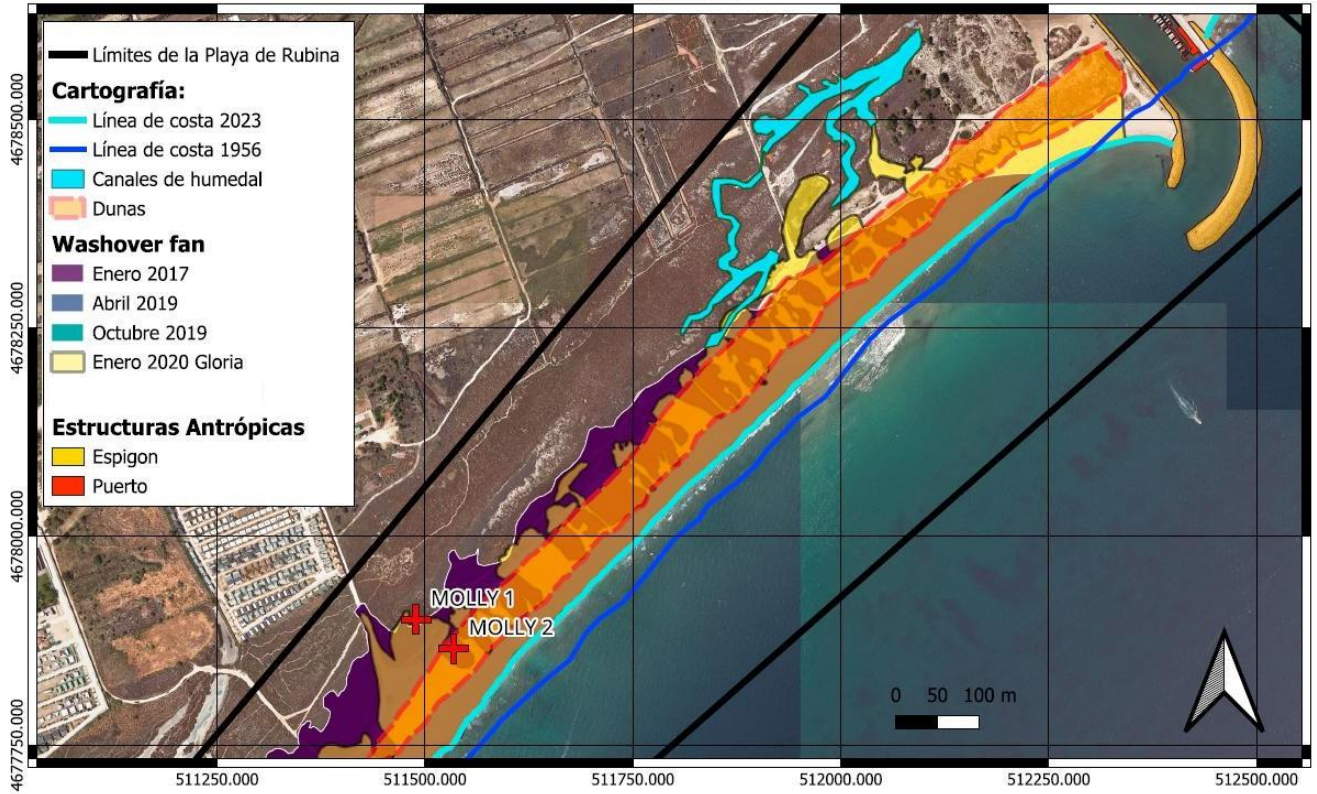
MOLLY 20



Anexo 1.20. Representación de la columna estratigráfica del Molly 20.

Anexo 2: Mapas de las áreas de testificación de los sondeos. Se adjunta una leyenda una escala y sus coordenadas en cada mapa. Todos se han realizado en la proyección ETRS89/UTM zona 31.

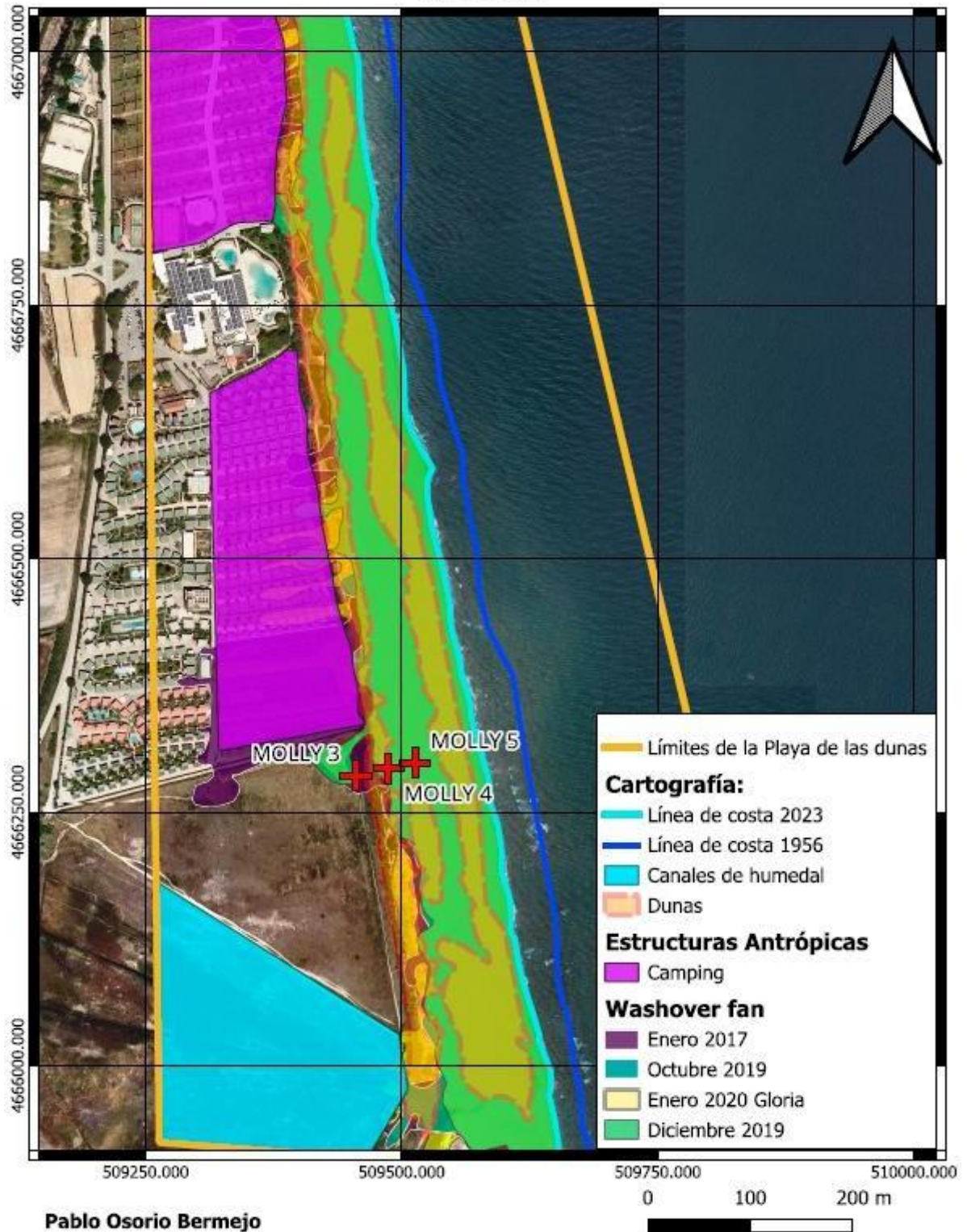
MAPA PLAYA 1 Rubina



Pablo Osorio Bermejo

Anexo 2.1. Mapa de la Playa 1 del estudio.

MAPA PLAYA 2 RIVET

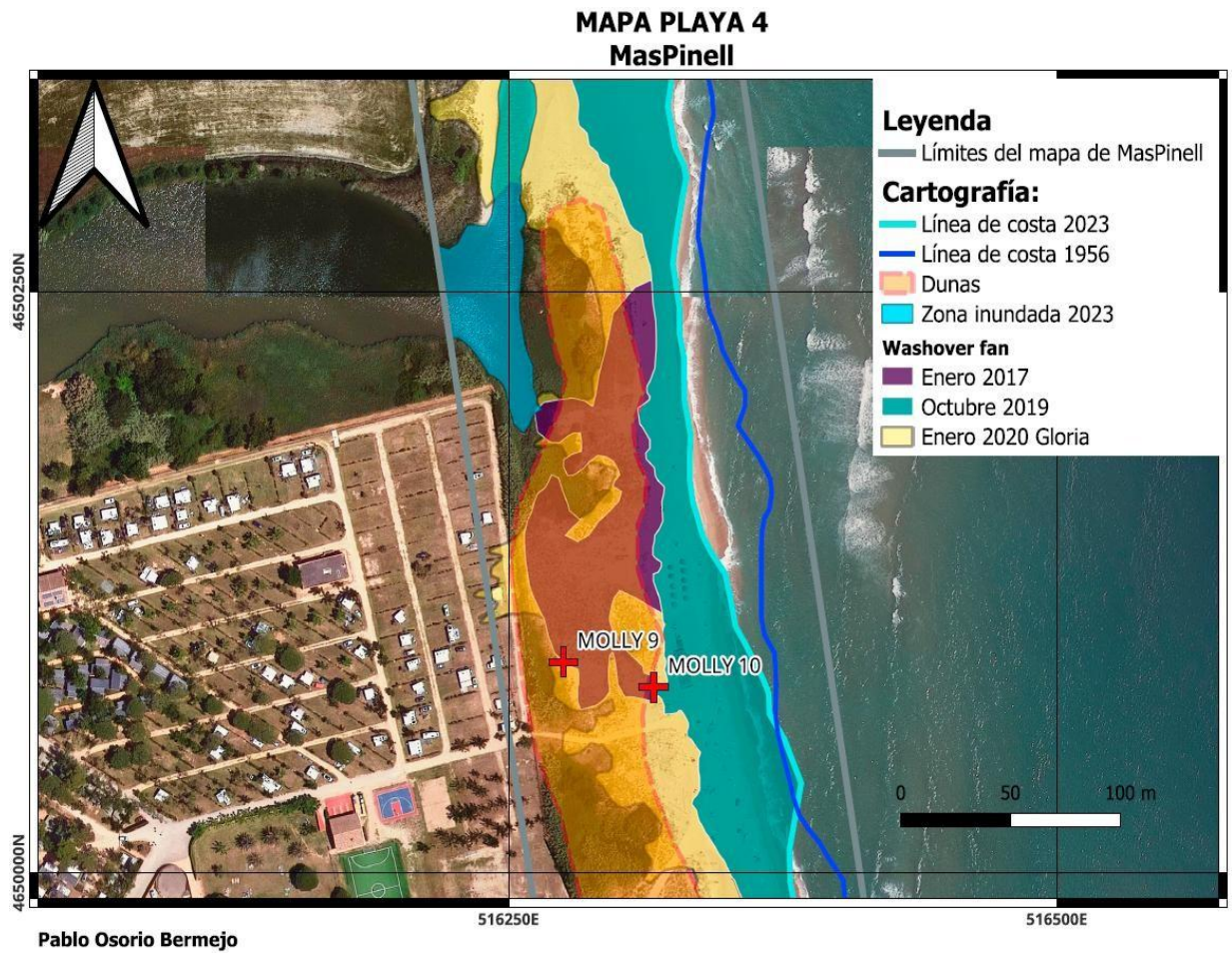


Anexo 2.2. Mapa de la Playa 2 del estudio.

MAPA PLAYA 3 TerVell

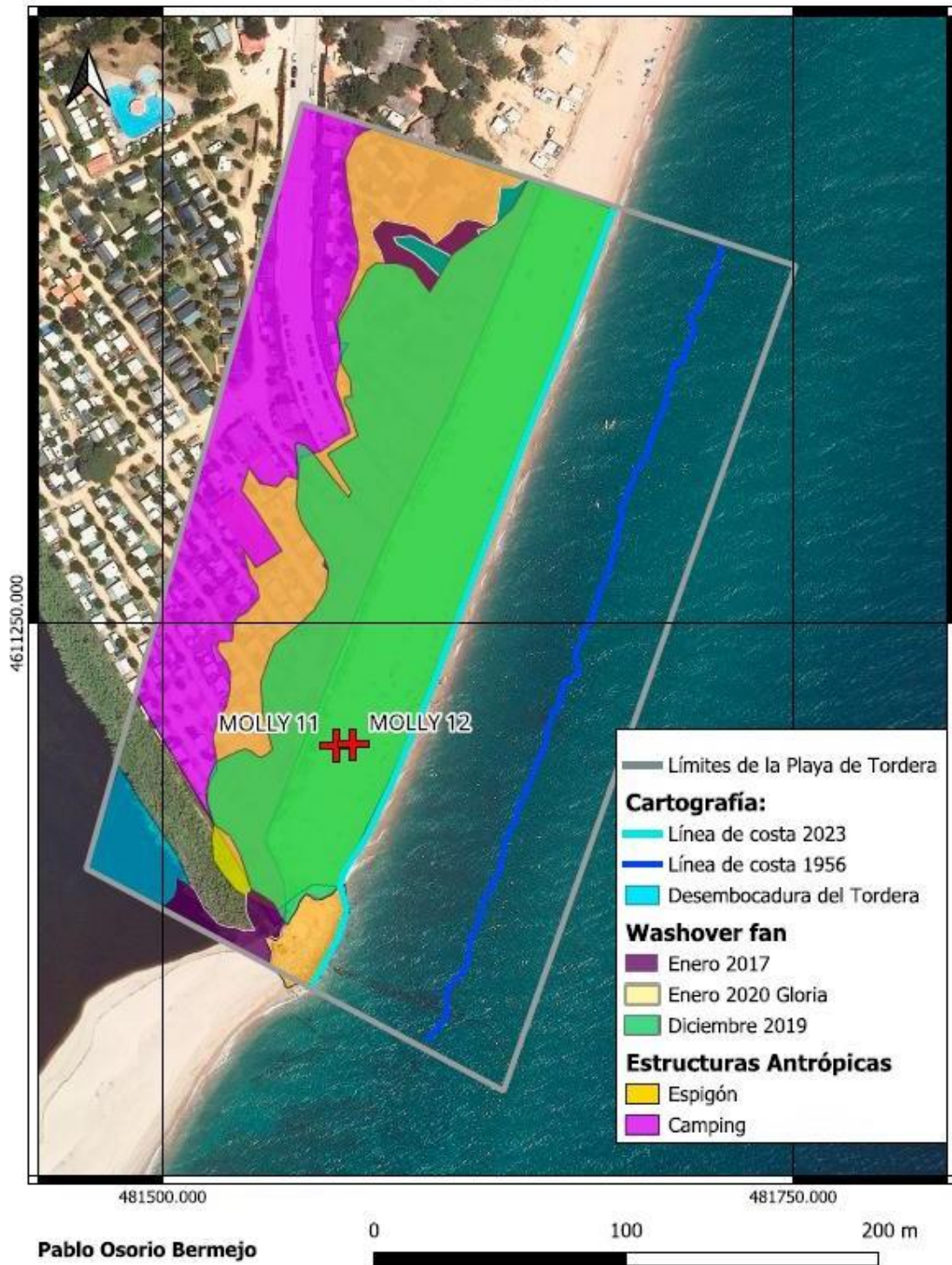


Anexo 2.3. Mapa de la Playa 3 del estudio.



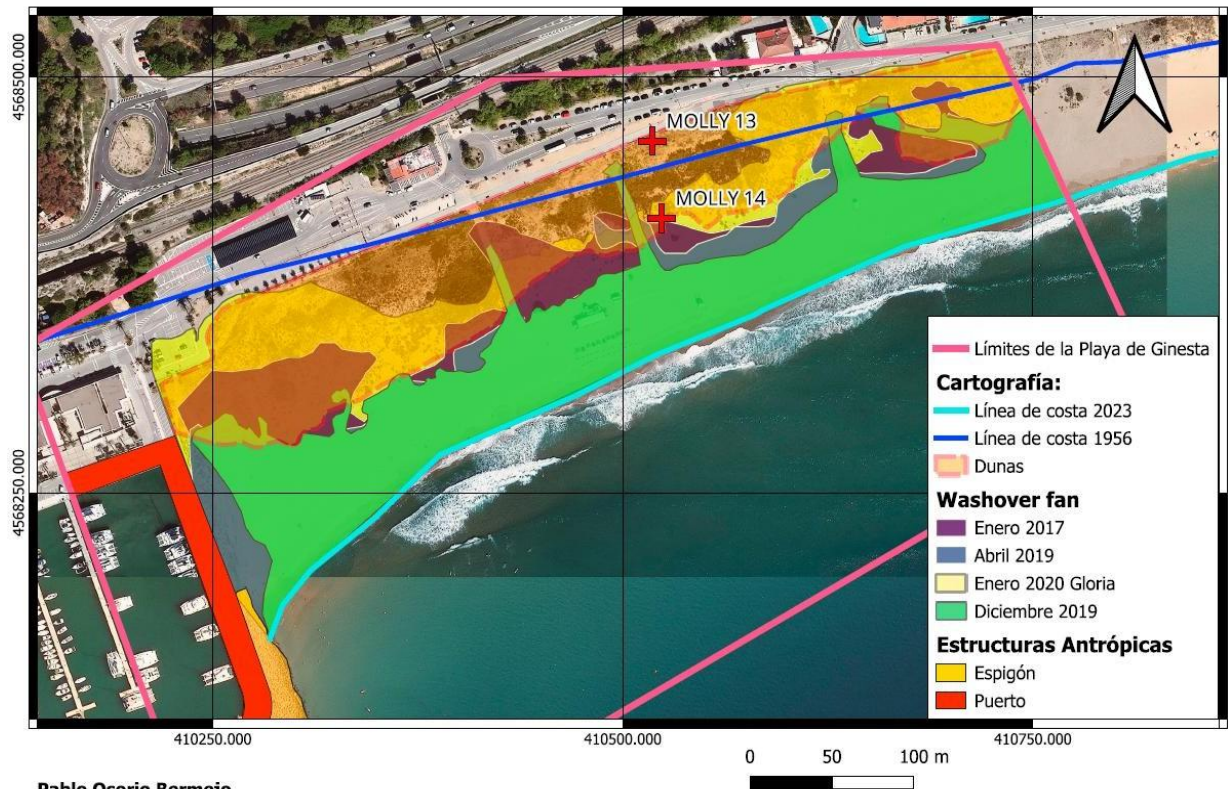
Anexo 2.4. Mapa de la Playa 4 del estudio.

MAPA PLAYA 5 Tordera



Anexo 2.5. Mapa de la Playa 5 del estudio.

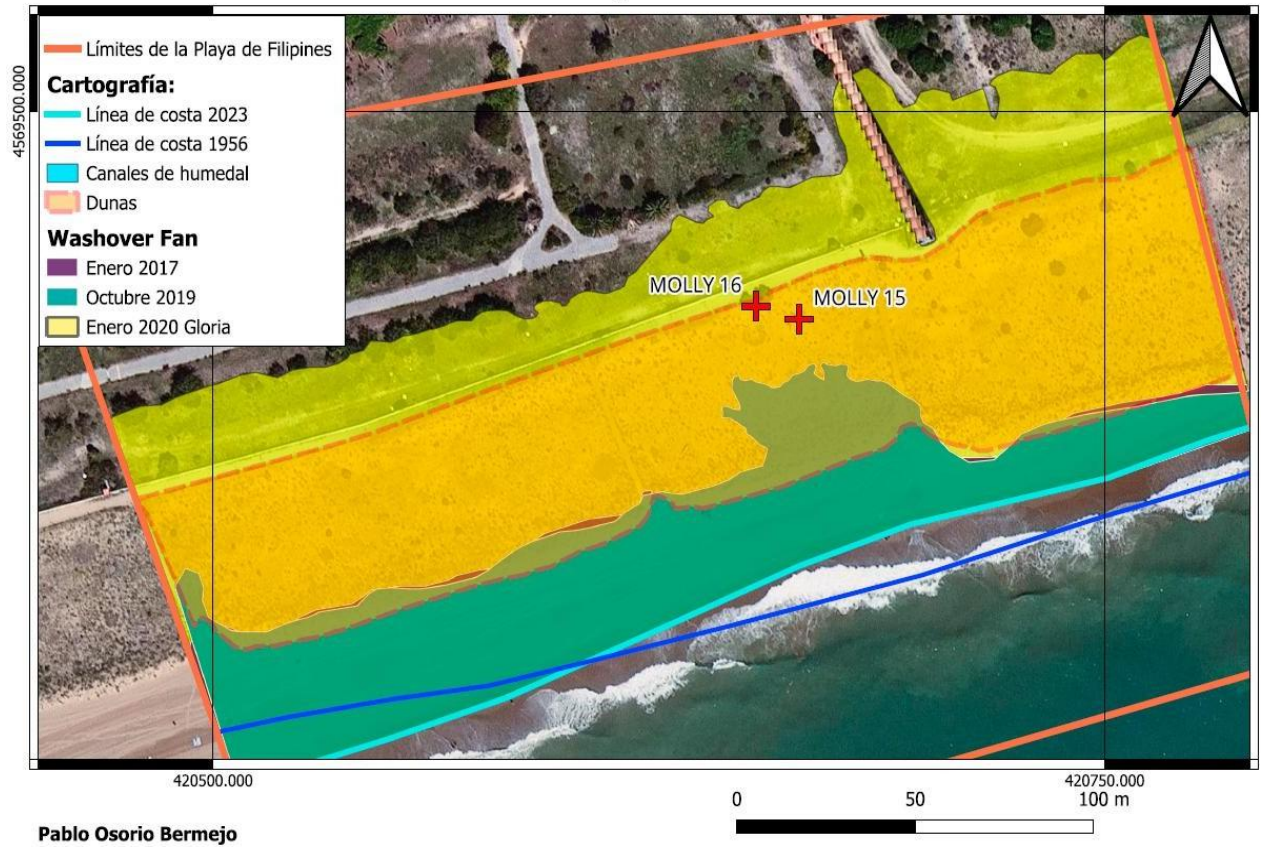
MAPA PLAYA 6 Ginesta



Pablo Osorio Bermejo

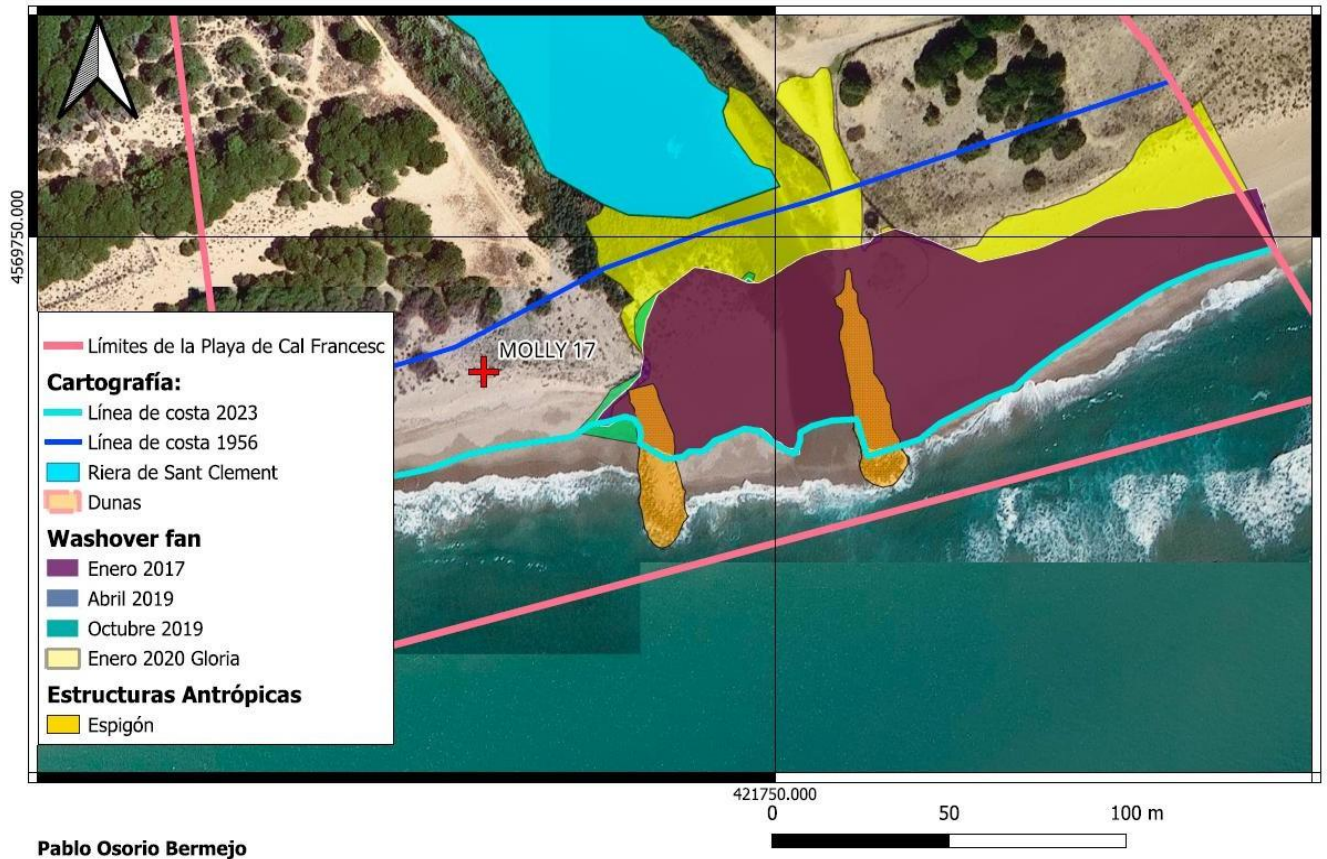
Anexo 2.6. Mapa de la Playa 6 del estudio.

MAPA PLAYA 7 Filipines



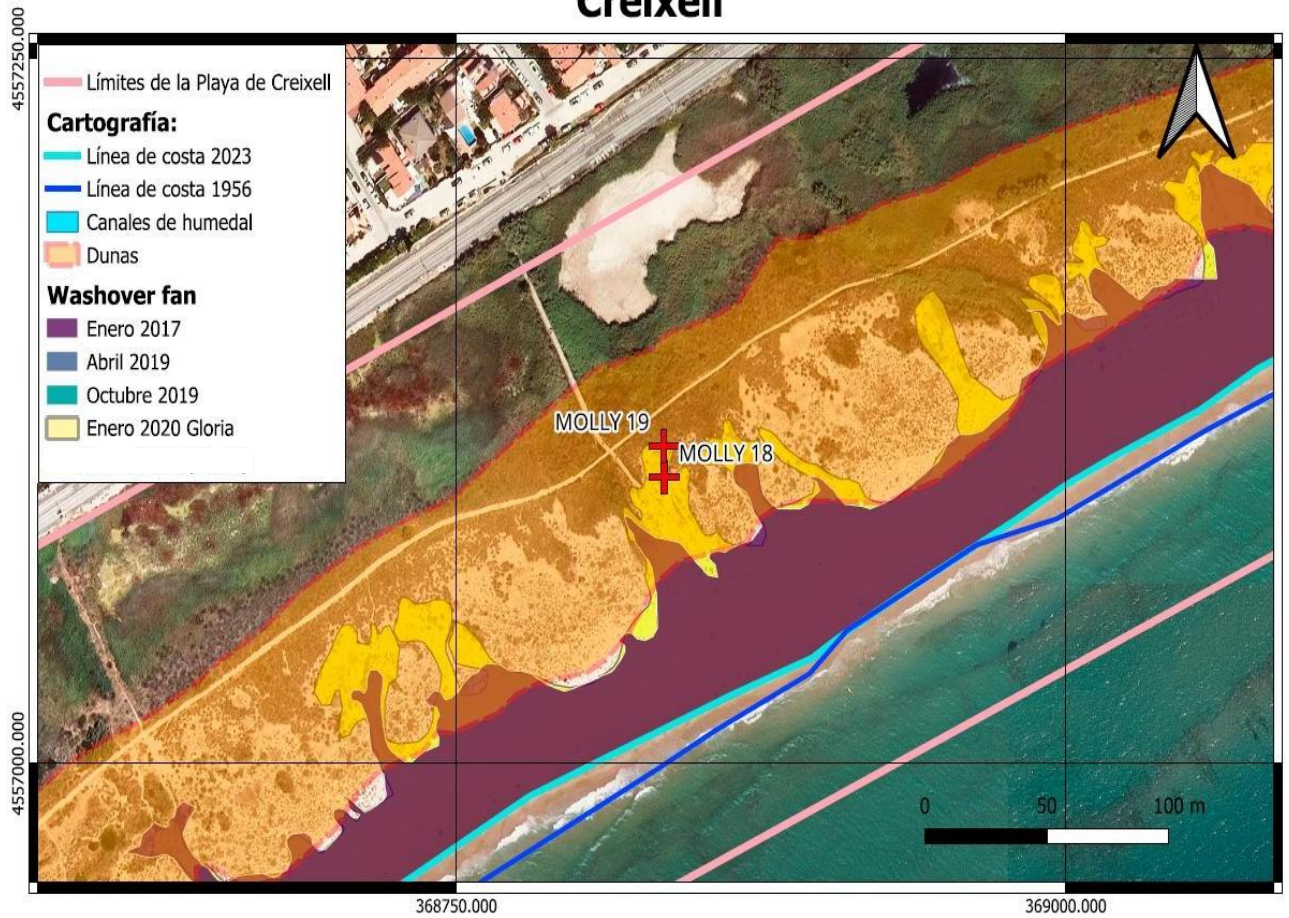
Anexo 2.7. Mapa de la Playa 7 del estudio.

MAPA PLAYA 8 Cal Francesc



Anexo 2.8. Mapa de la Playa 8 del estudio.

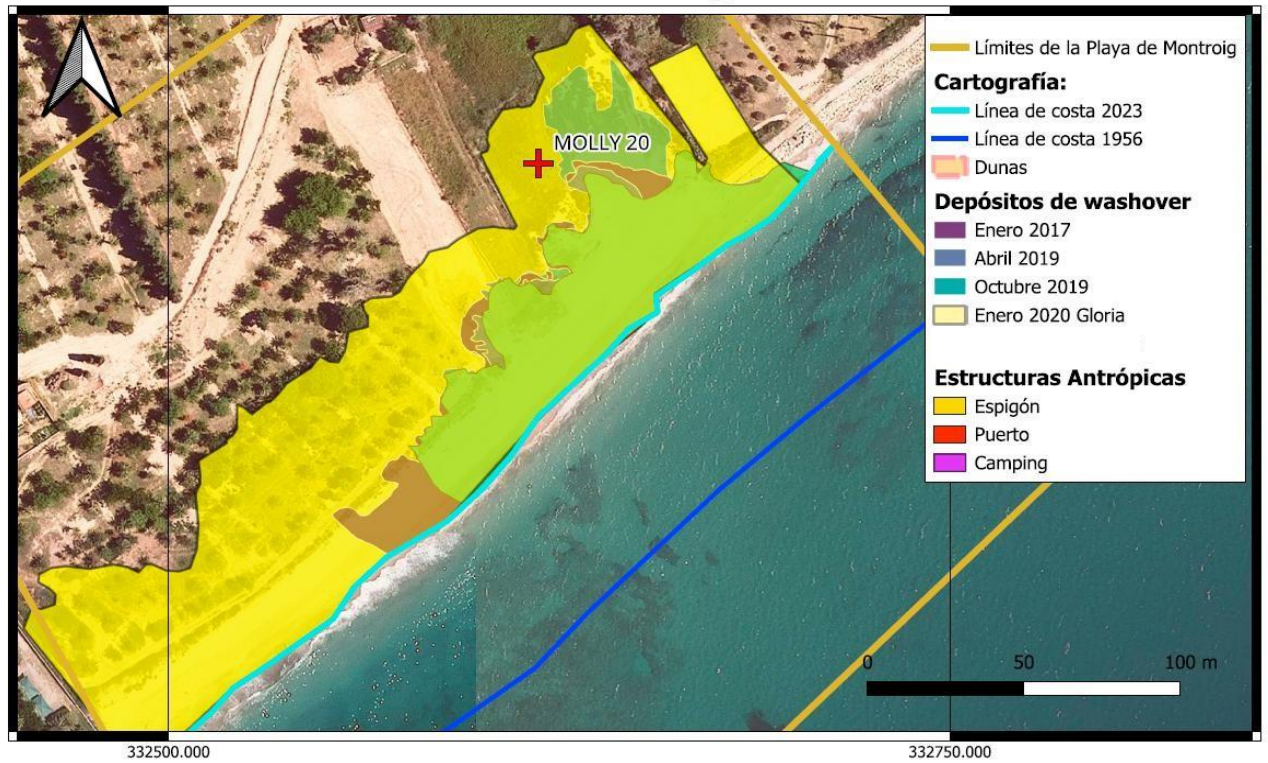
MAPA PLAYA 9 Creixell



Pablo Osorio Bermejo

Anexo 2.9. Mapa de la Playa 9 del estudio.

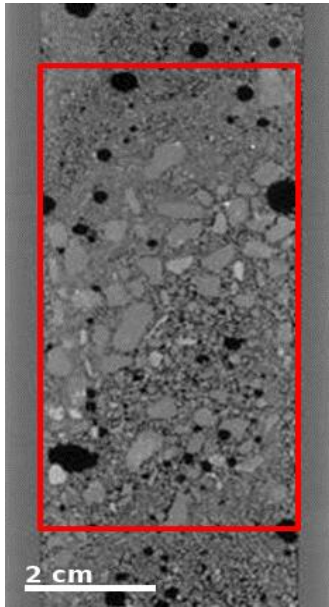
MAPA PLAYA 10 Montroig



Pablo Osorio Bermejo

Anexo 2.10. Mapa de la Playa 10 del estudio.

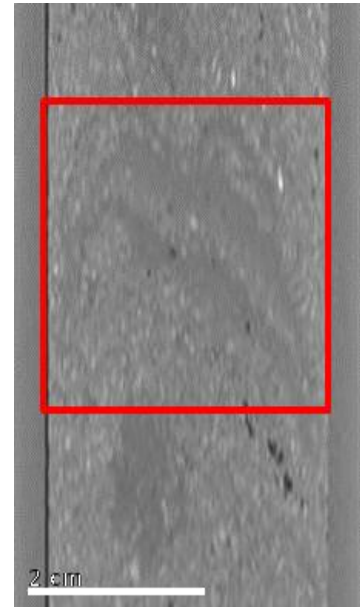
Anexo 3: Niveles marcados según el criterio sedimentológico del autor como posibles niveles de *washover fan*, se incluye el nivel más probable de ser un depósito de *overwash*. Las características de estos niveles están descritas en el apartado 3.1.



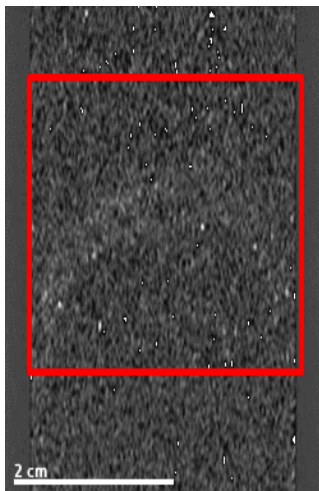
Molly 1



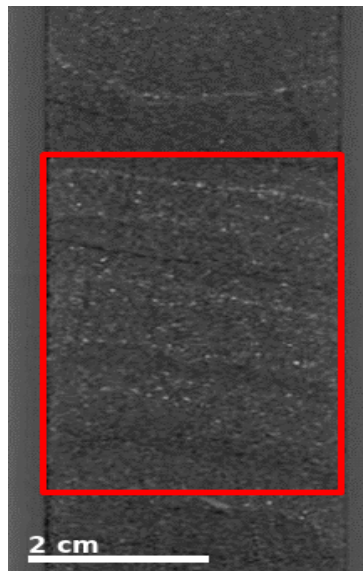
Molly 2



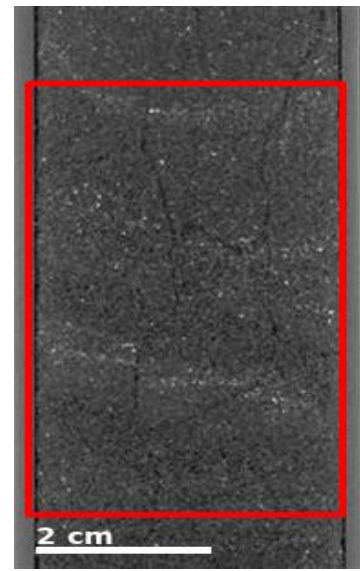
Molly 3



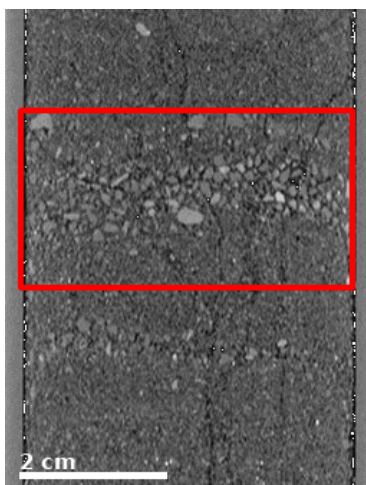
Molly 5



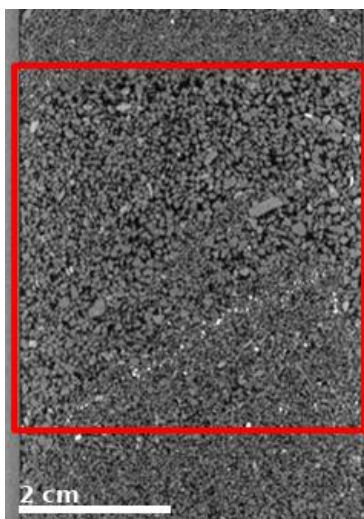
Molly 6



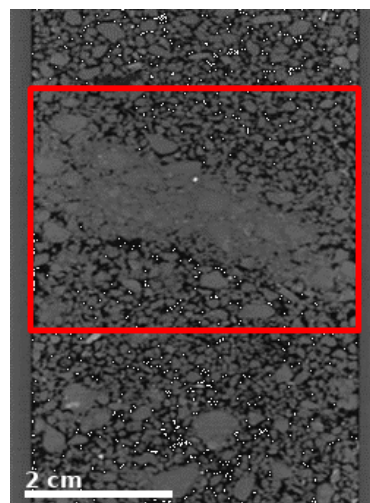
Molly 7



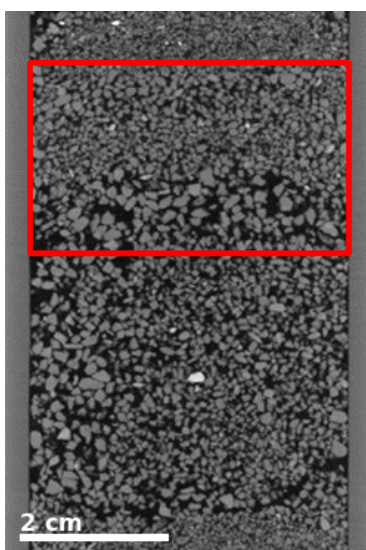
Molly 8



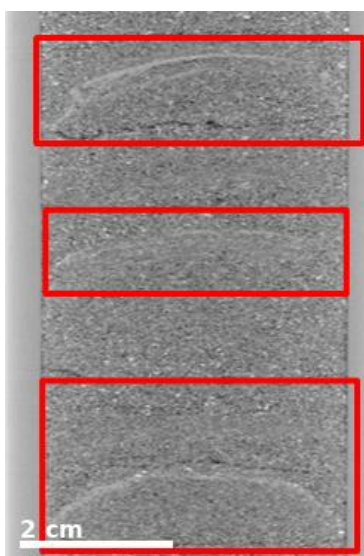
Molly 10



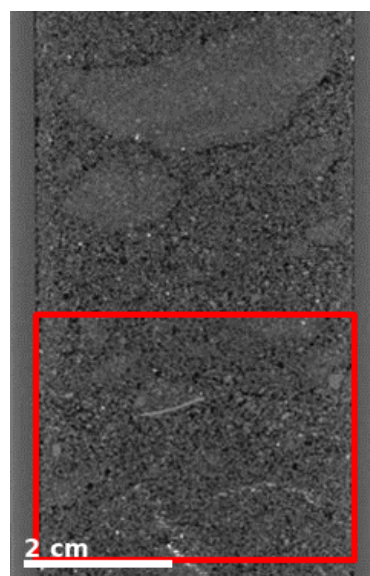
Molly 11



Molly 12



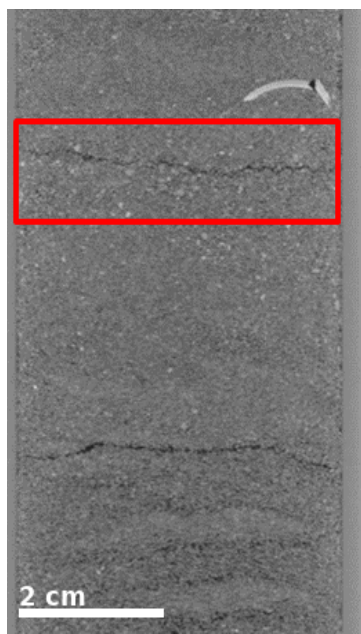
Molly 14



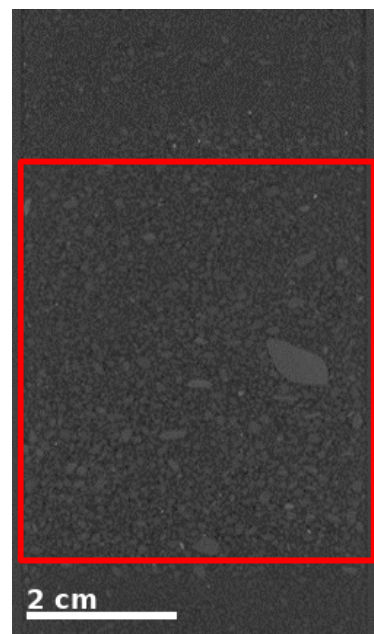
Molly 15



Molly 17



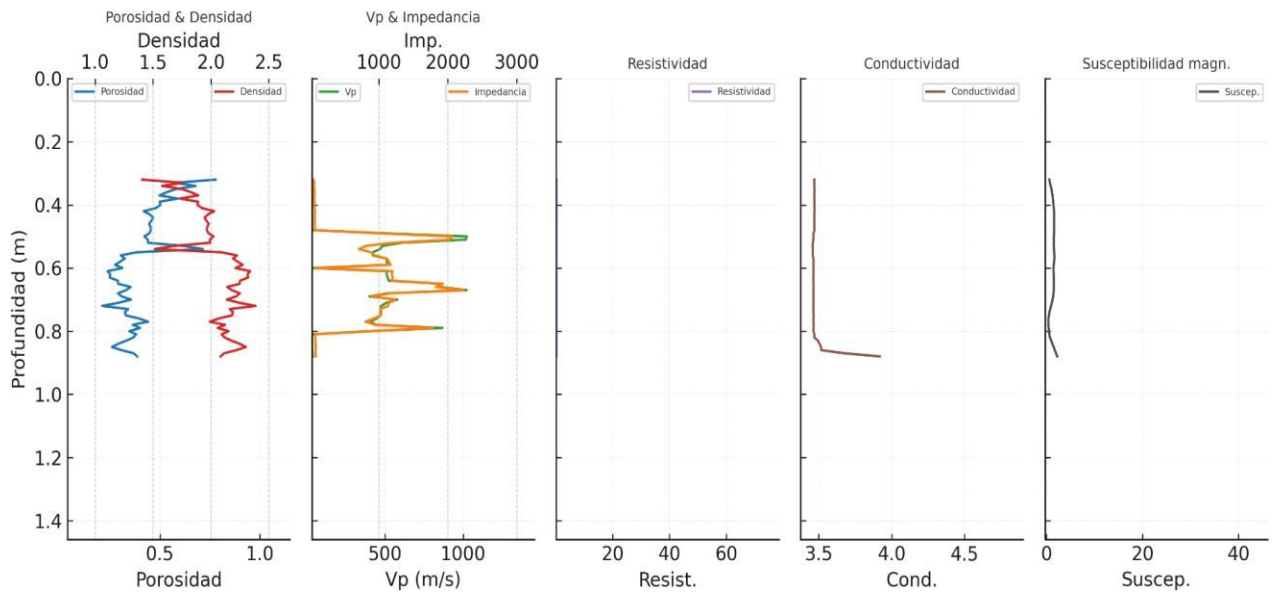
Molly 18



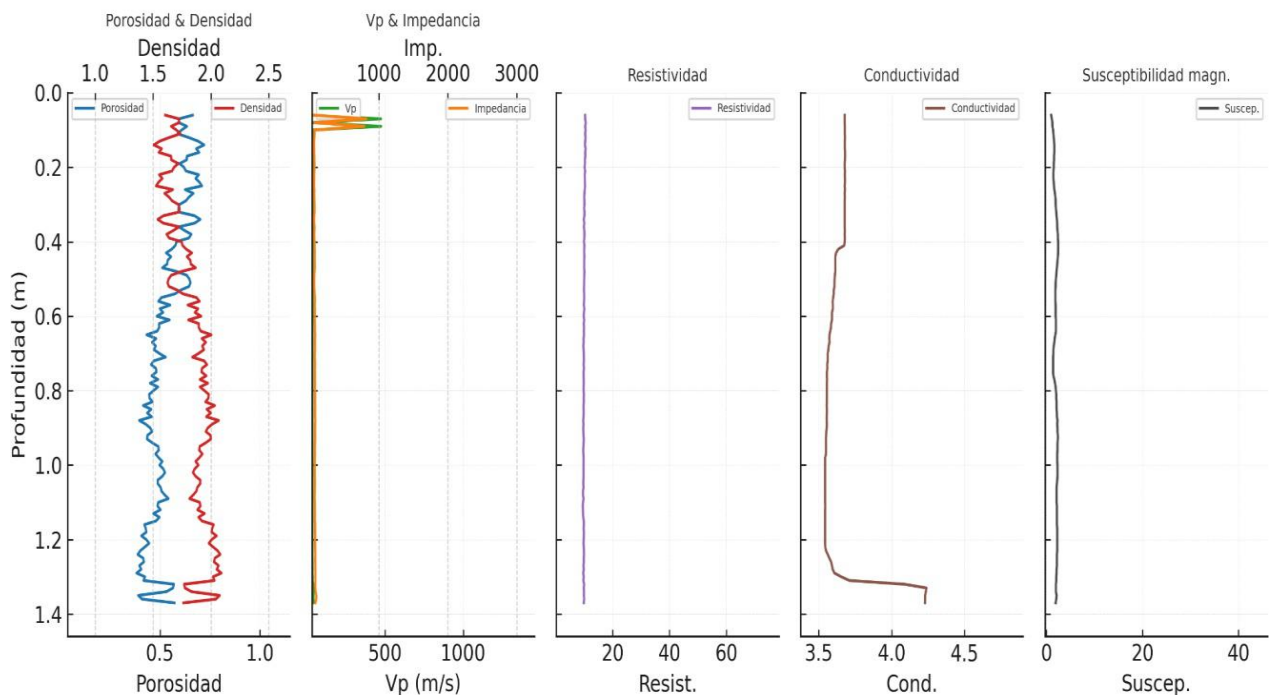
Molly 20

Anexo 4: En este anexo se incluyen las representaciones gráficas registradas por el aparato MSCL. Todas las propiedades están escaladas según la longitud de cada testigo (variable) y según los rangos globales de datos de cada propiedad (aplicada en todos los testigos). Se adjuntan las representaciones gráficas de las propiedades de los testigos de todas las playas. (1 hoja por cada playa)

Molly 1 - Propiedades físicas (escala global)

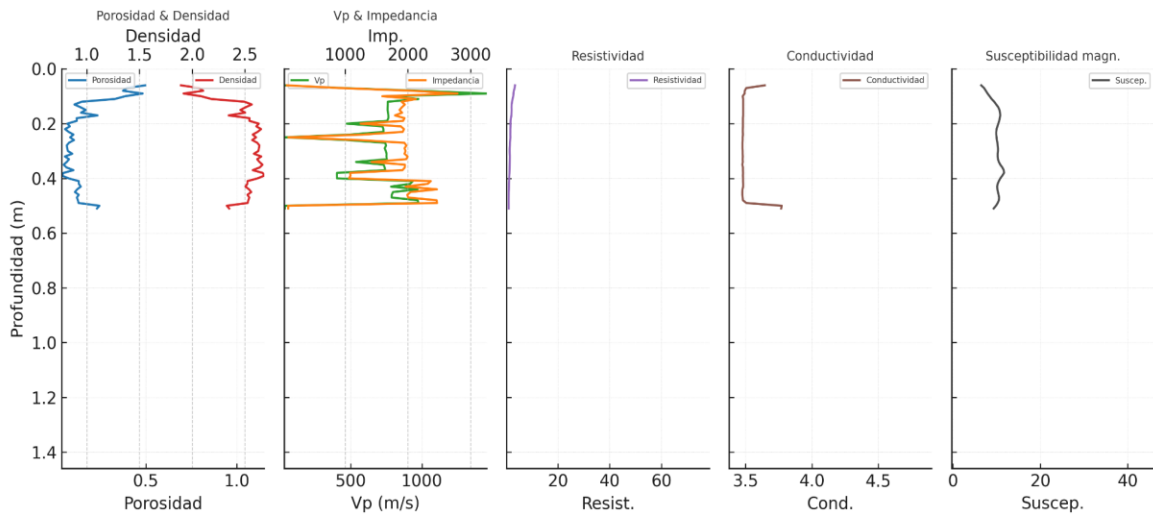


Molly 2 - Propiedades físicas (escala global)

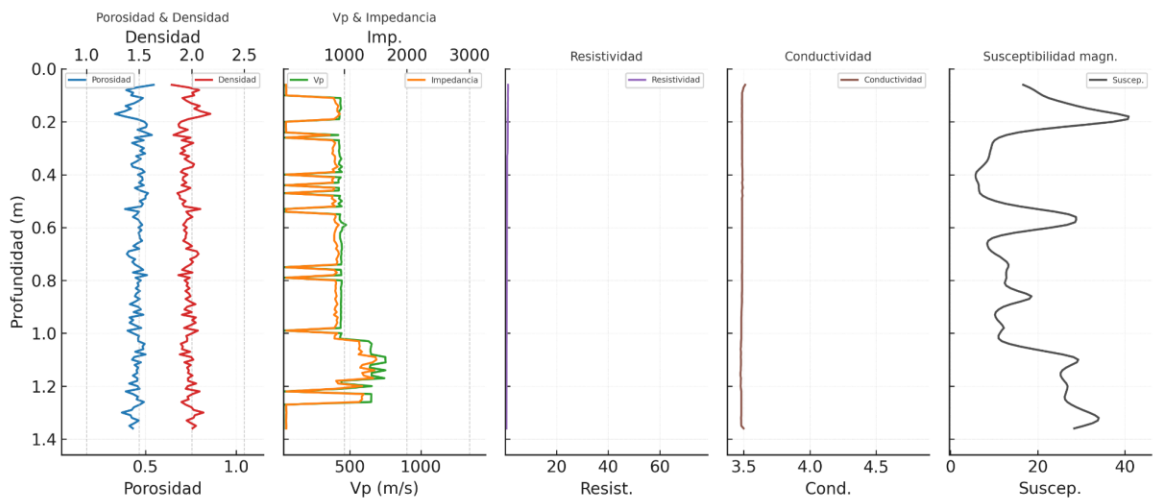


Anexo 4.1. Representación gráfica de las propiedades de la Playa 1 (Molly 1-2).

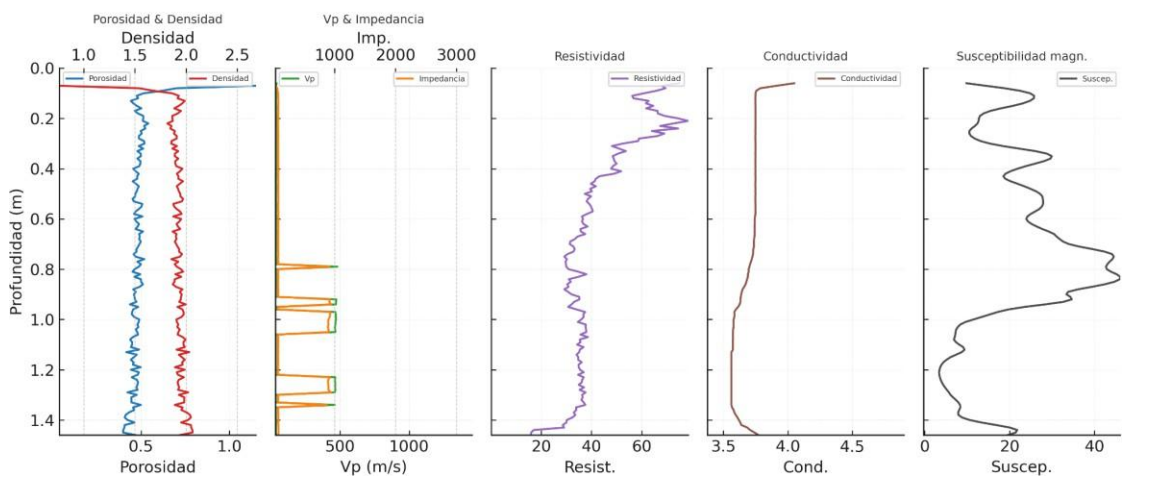
Molly 3 - Propiedades físicas (escala global)



Molly 4 - Propiedades físicas (escala global)

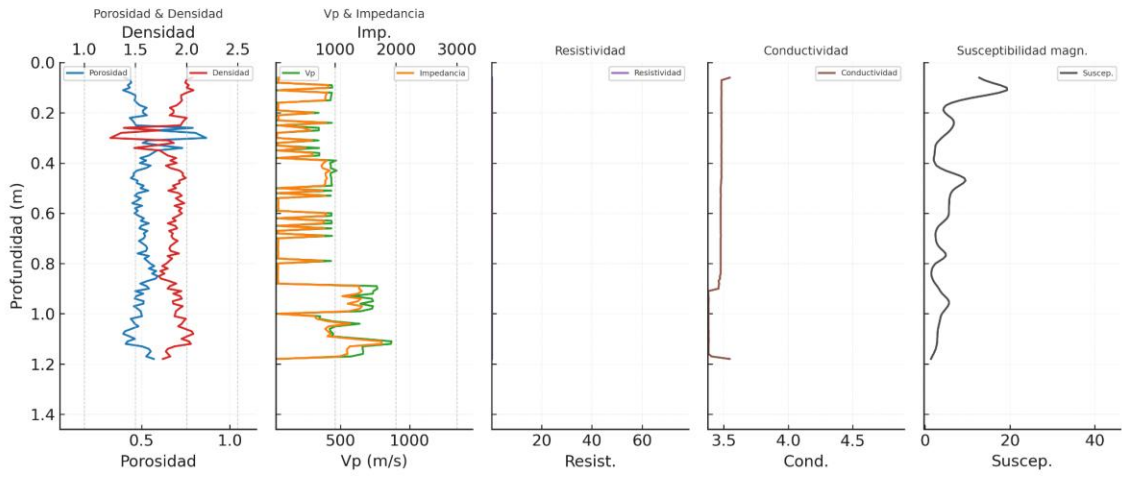


Molly 5 - Propiedades físicas (escala global)

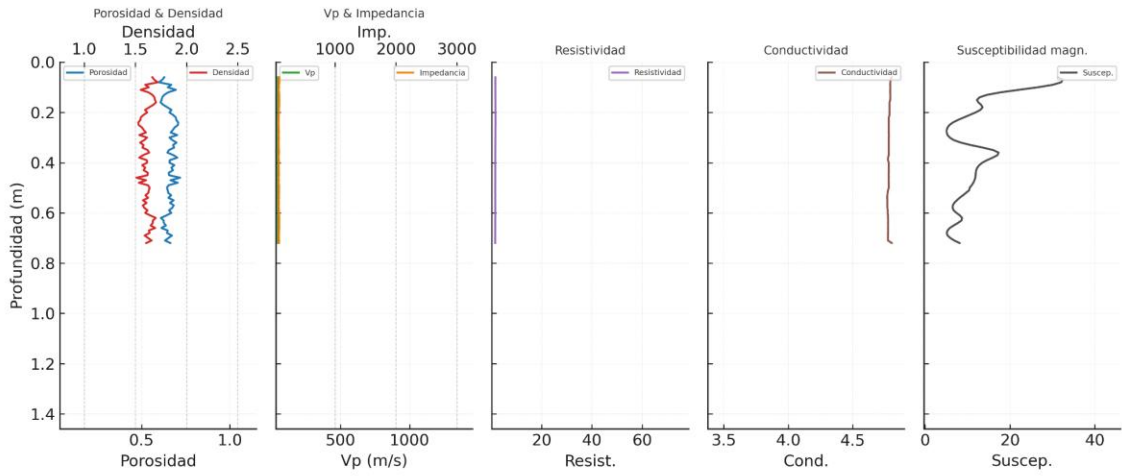


Anexo 4.2. Representación gráfica de las propiedades de la Playa 2 (Molly 3-5).

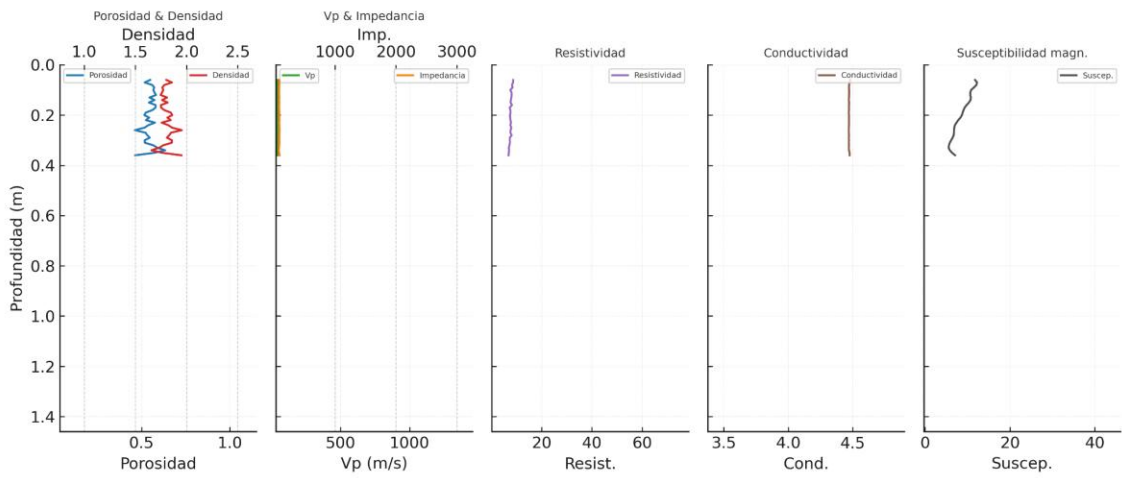
Molly 6 - Propiedades físicas (escala global)



Molly 7 - Propiedades físicas (escala global)

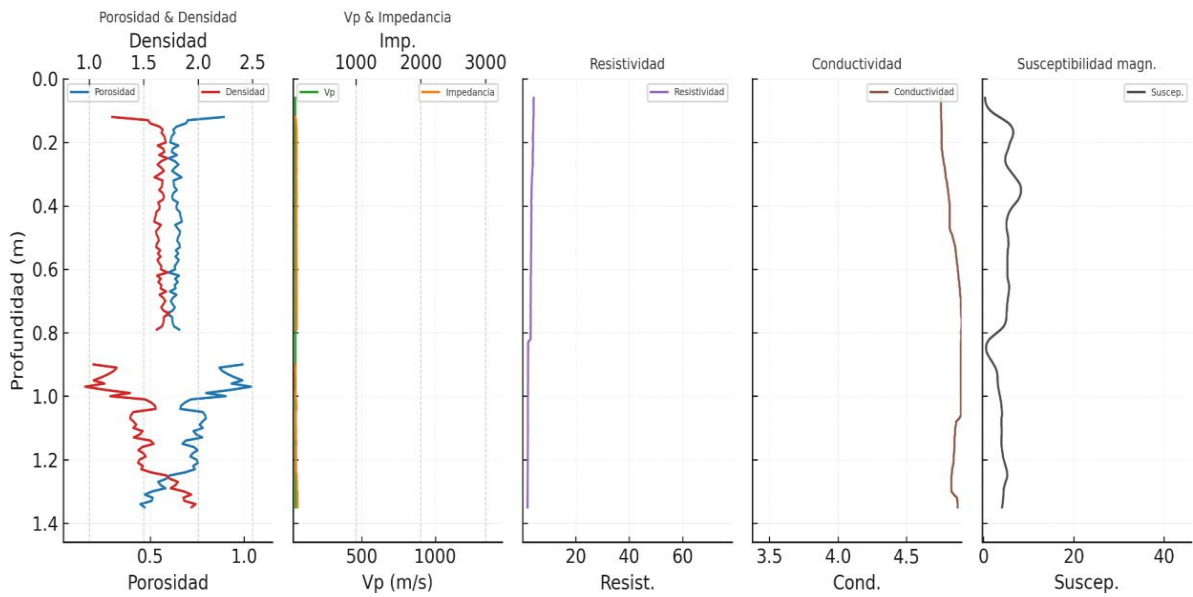


Molly 8 - Propiedades físicas (escala global)

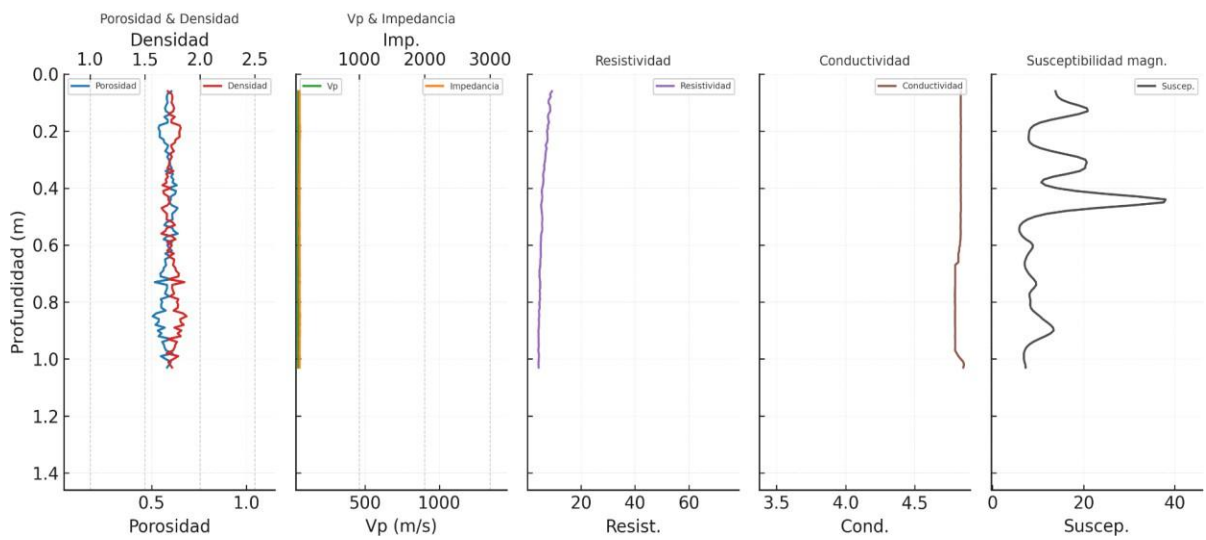


Anexo 4.3. Representación gráfica de las propiedades de la Playa 3 (Molly 6-8).

Molly 9 - Propiedades físicas (escala global)

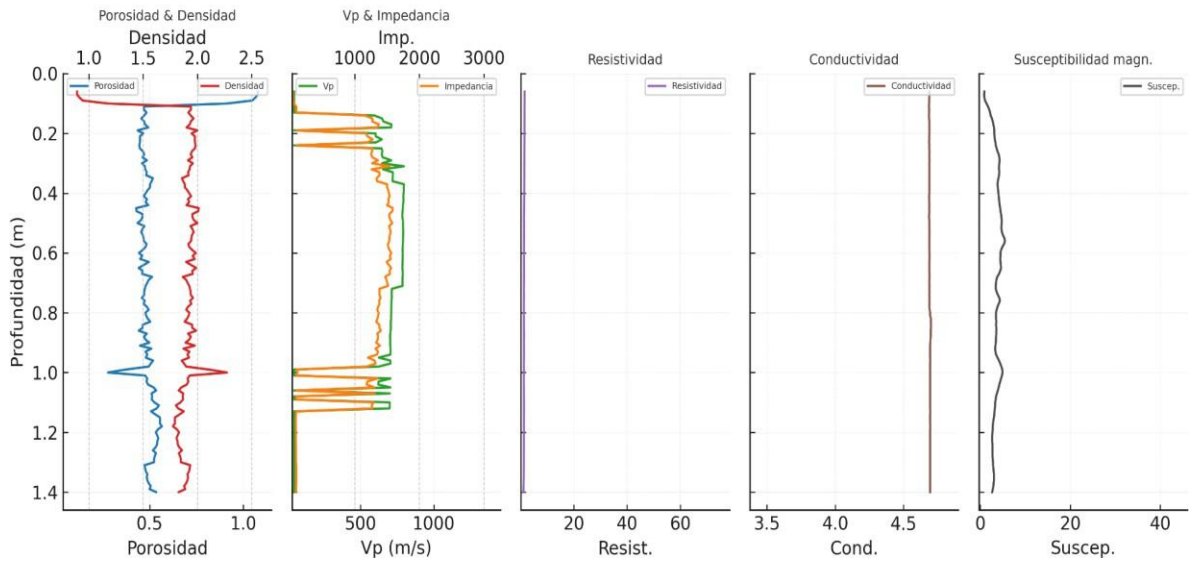


Molly 10 - Propiedades físicas (escala global)

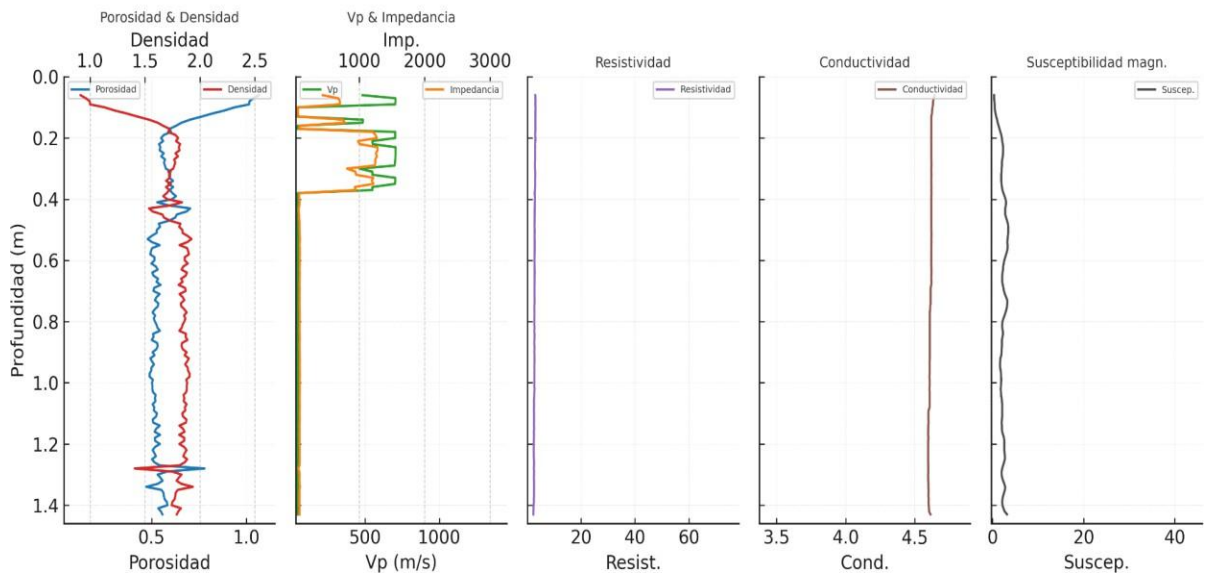


Anexo 4.4. Representación gráfica de las propiedades de la Playa 4 (Molly 9-10).

Molly 11 - Propiedades físicas (escala global)

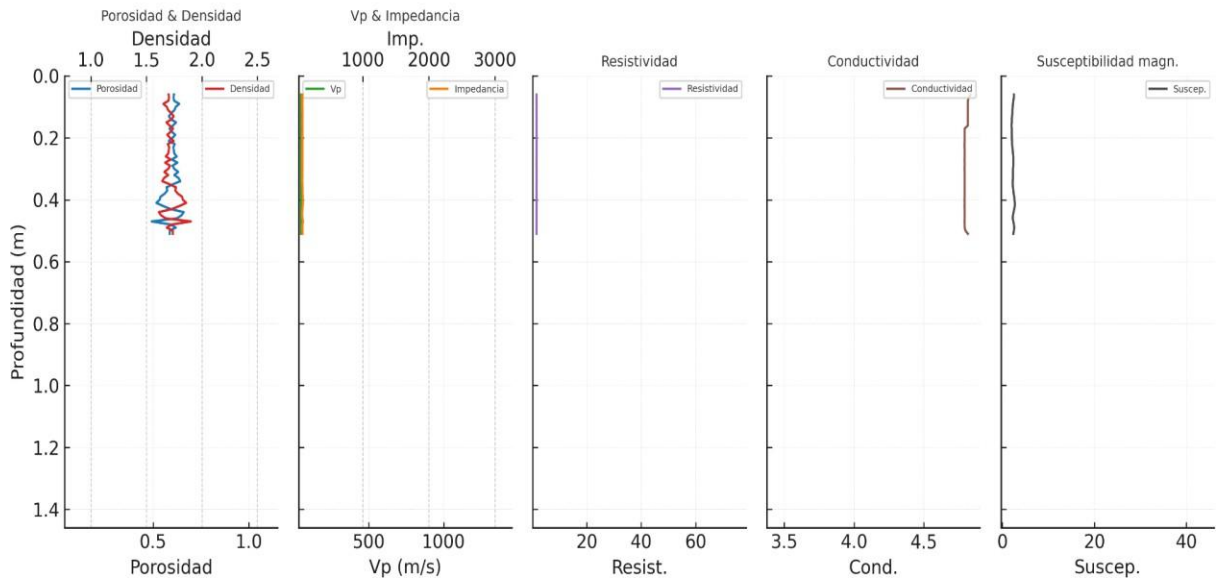


Molly 12 - Propiedades físicas (escala global)

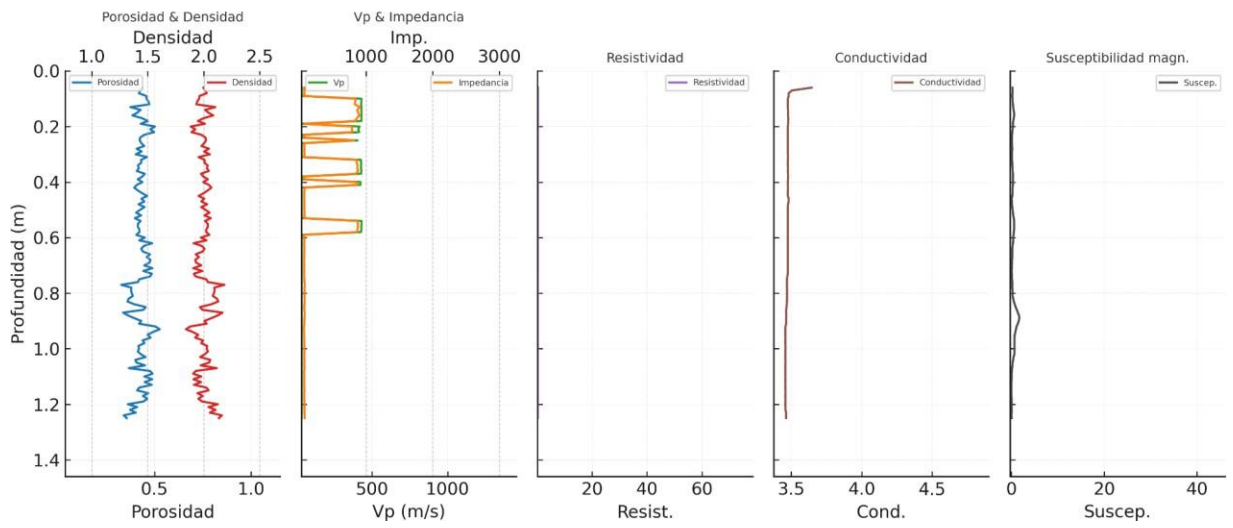


Anexo 4.5. Representación gráfica de las propiedades de la Playa 5 (Molly 11-12).

Molly 13 - Propiedades físicas (escala global)

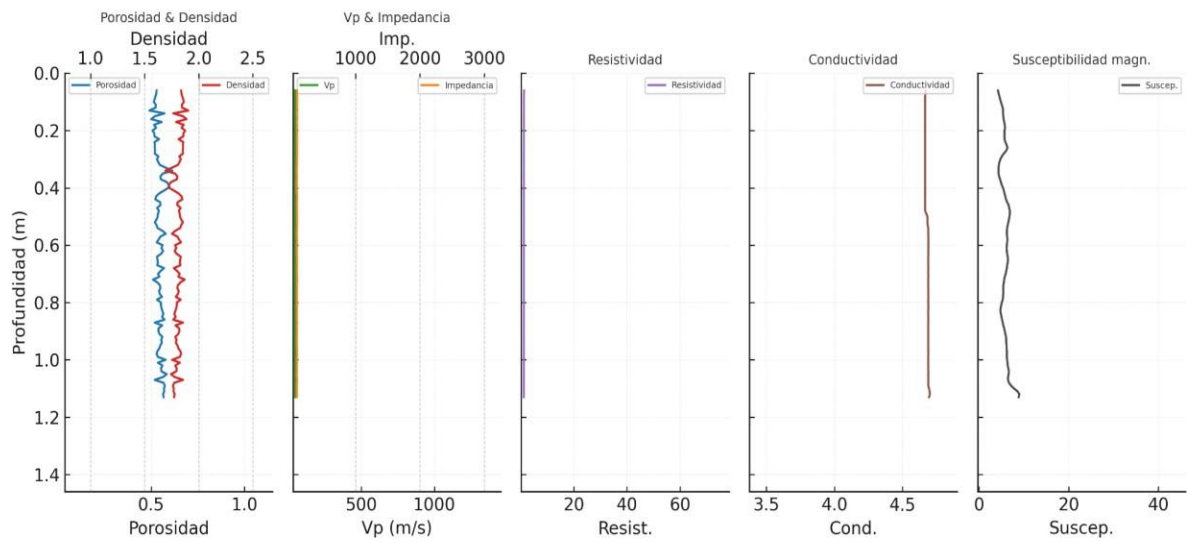


Molly 14 - Propiedades físicas (escala global)

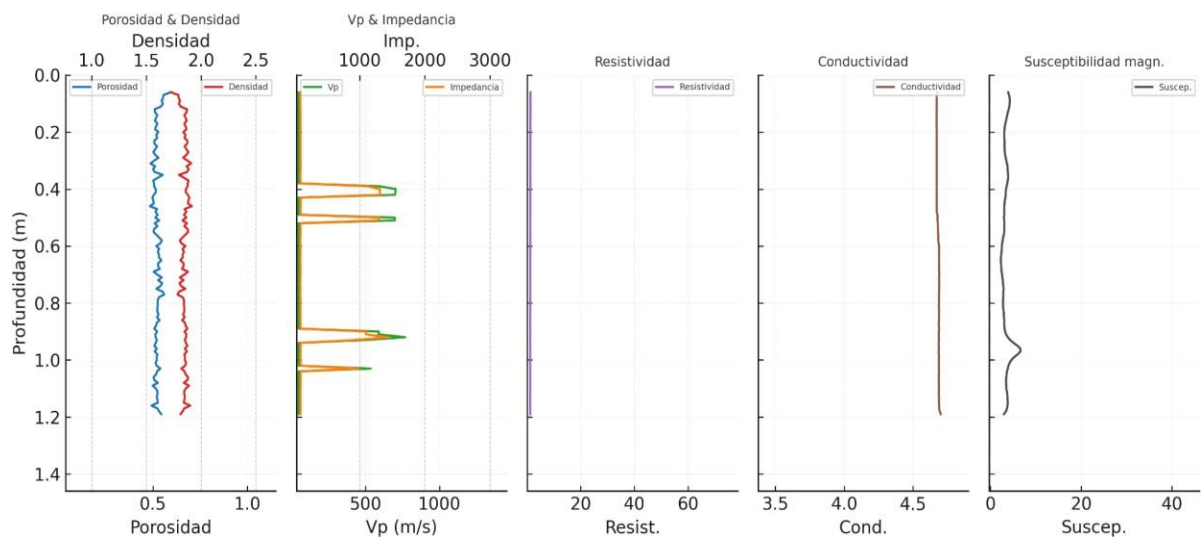


Anexo 4.6. Representación gráfica de las propiedades de la Playa 6 (Molly 14-15).

Molly 15 - Propiedades físicas (escala global)

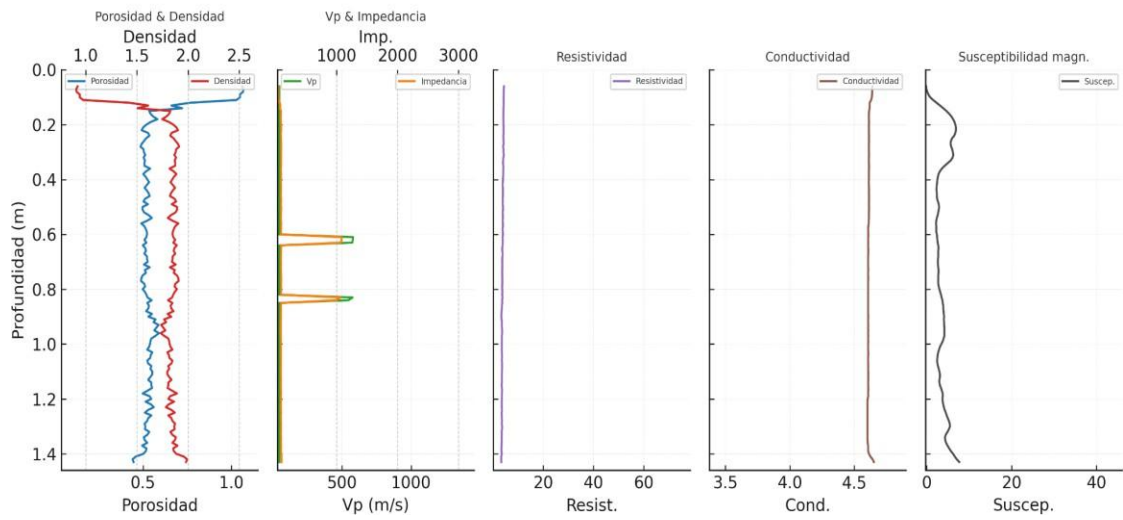


Molly 16 - Propiedades físicas (escala global)



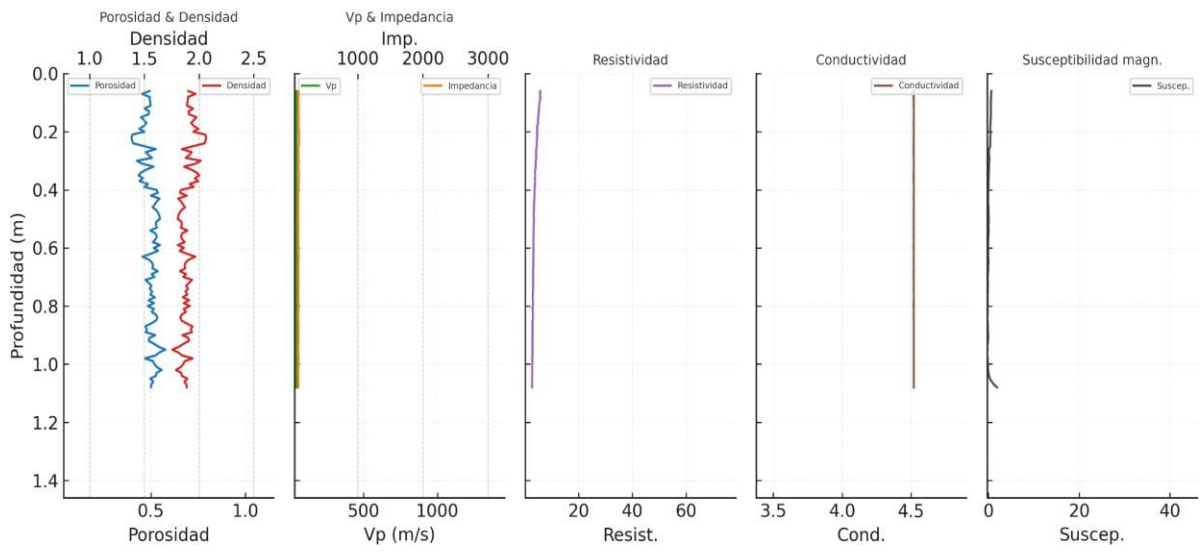
Anexo 4.7. Representación gráfica de las propiedades de la Playa 5 (Molly 15-16).

Molly 17 - Propiedades físicas (escala global)

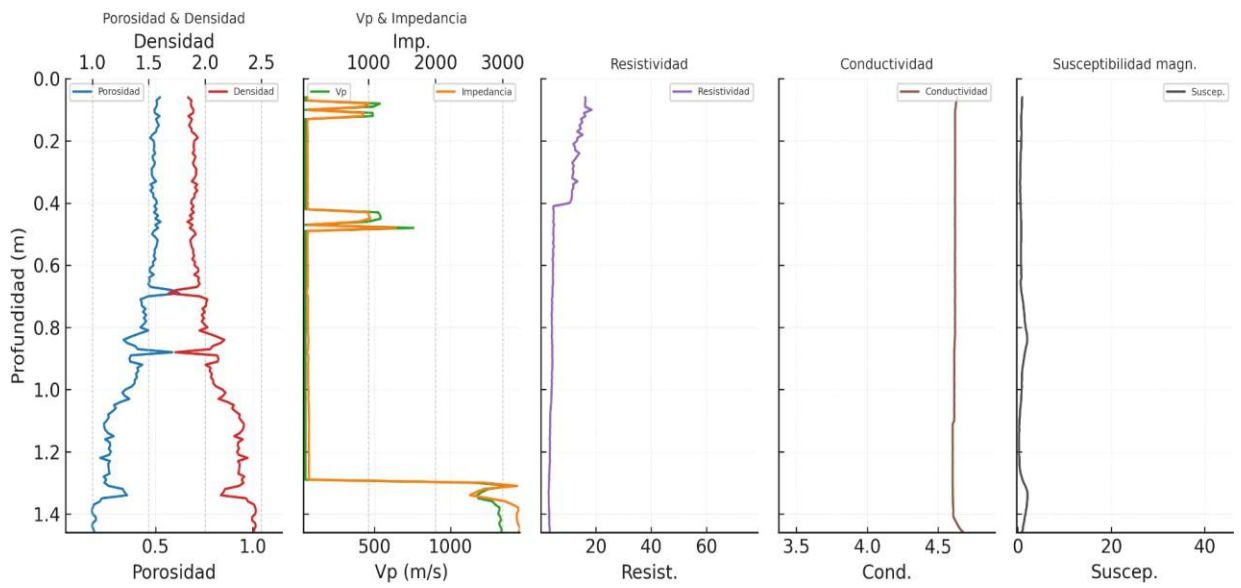


Anexo 4.8. Representación gráfica de las propiedades de la Playa 5 (Molly 17).

Molly 18 - Propiedades físicas (escala global)

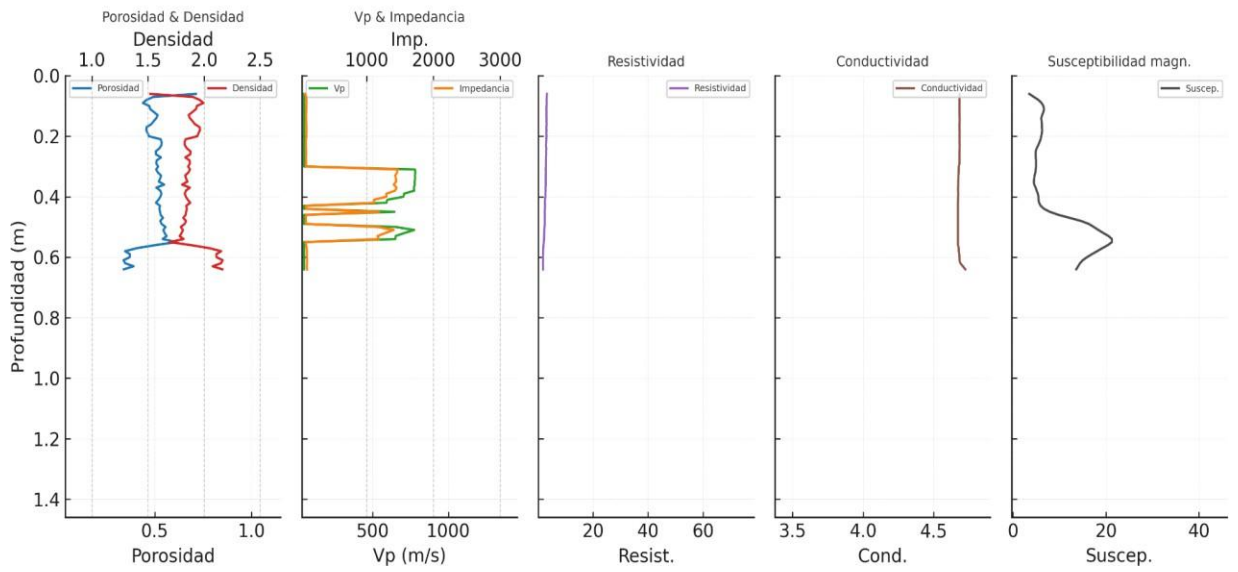


Molly 19 - Propiedades físicas (escala global)



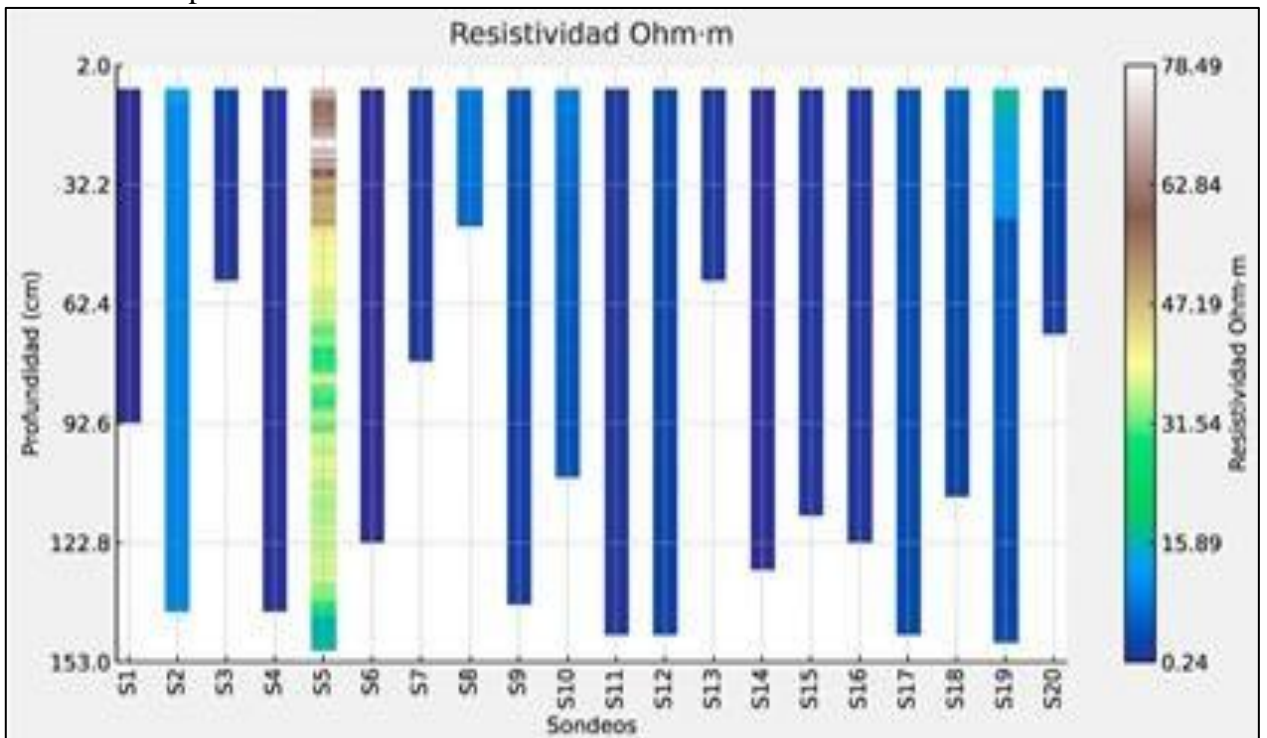
Anexo 4.9. Representación gráfica de las propiedades de la Playa 9 (Molly 18-19).

Molly 20 - Propiedades físicas (escala global)

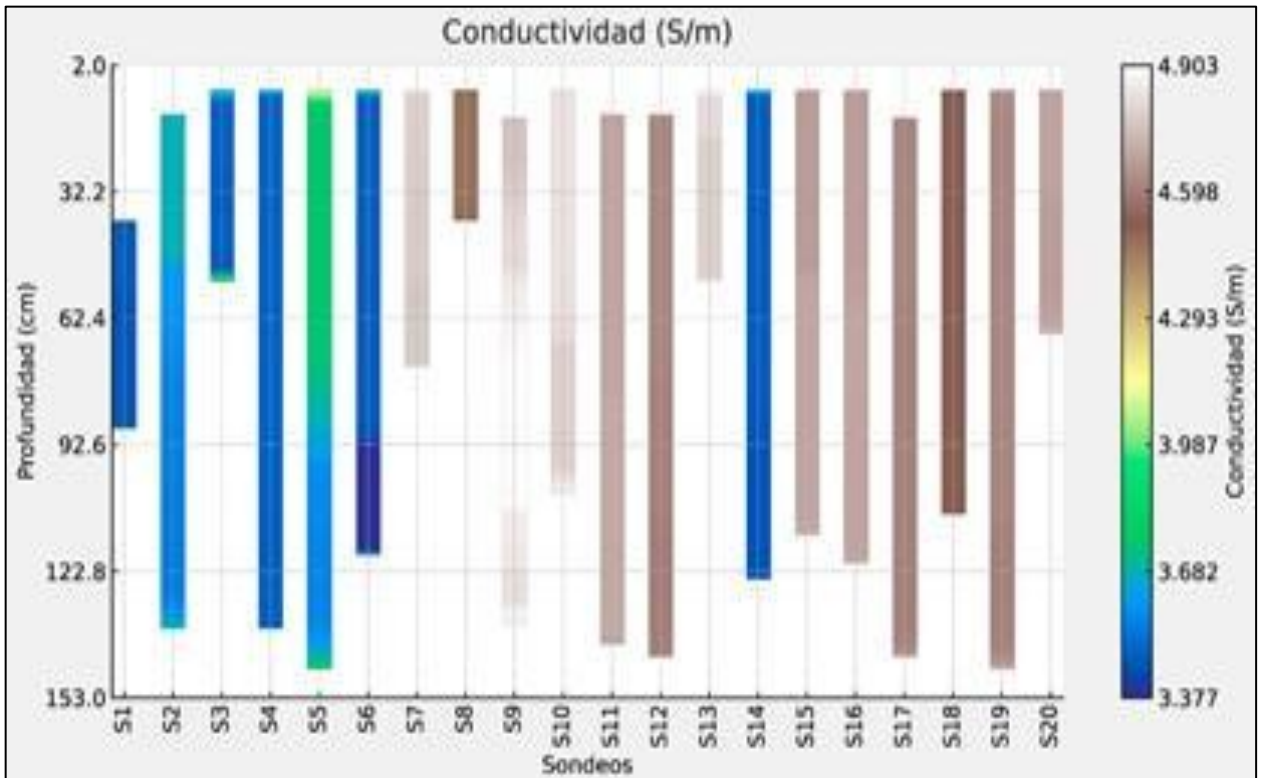


Anexo 4.10. Representación gráfica de las propiedades de la Playa 10 (Molly 20).

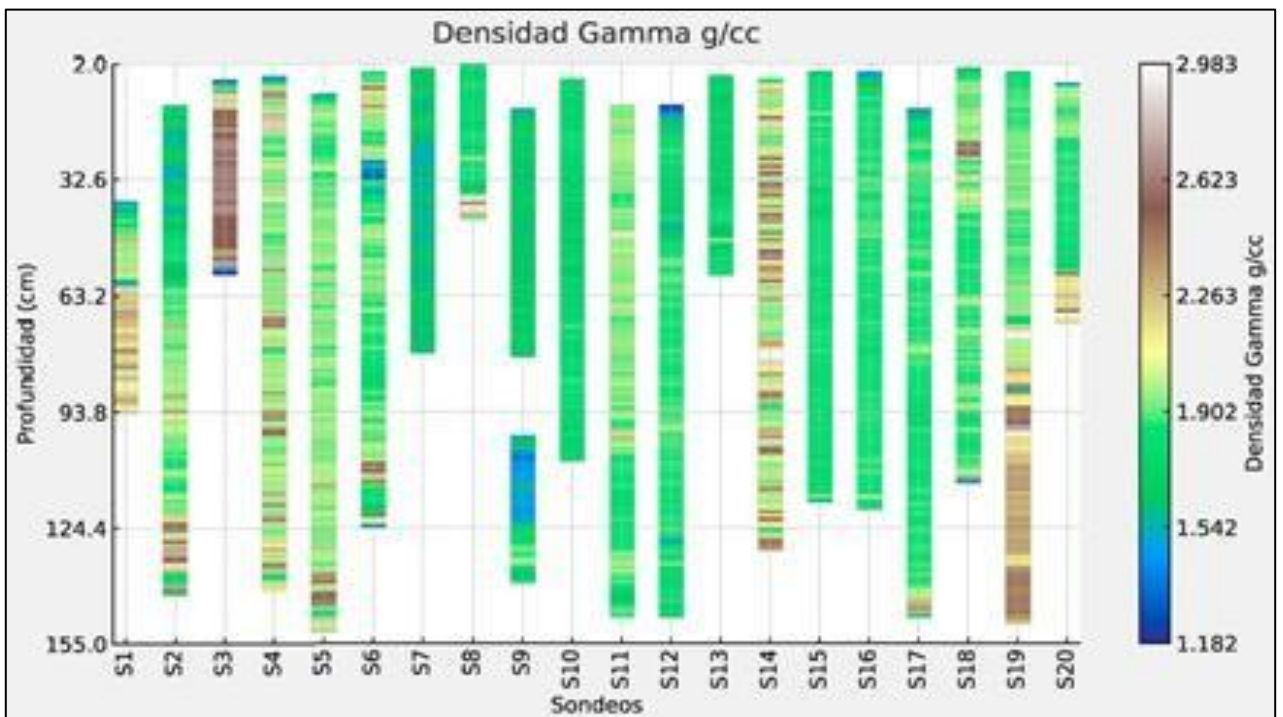
Anexo 5: En este apartado se incluyen representadas las propiedades de los 20 testigos en conjunto, las propiedades se ilustran una a una, aplicando una escala de colores según los rangos globales de las diferentes propiedades. El eje x corresponde al número de testigo y el eje y corresponde a la profundidad. Se ha confeccionado combinando Excel e Inkscape.



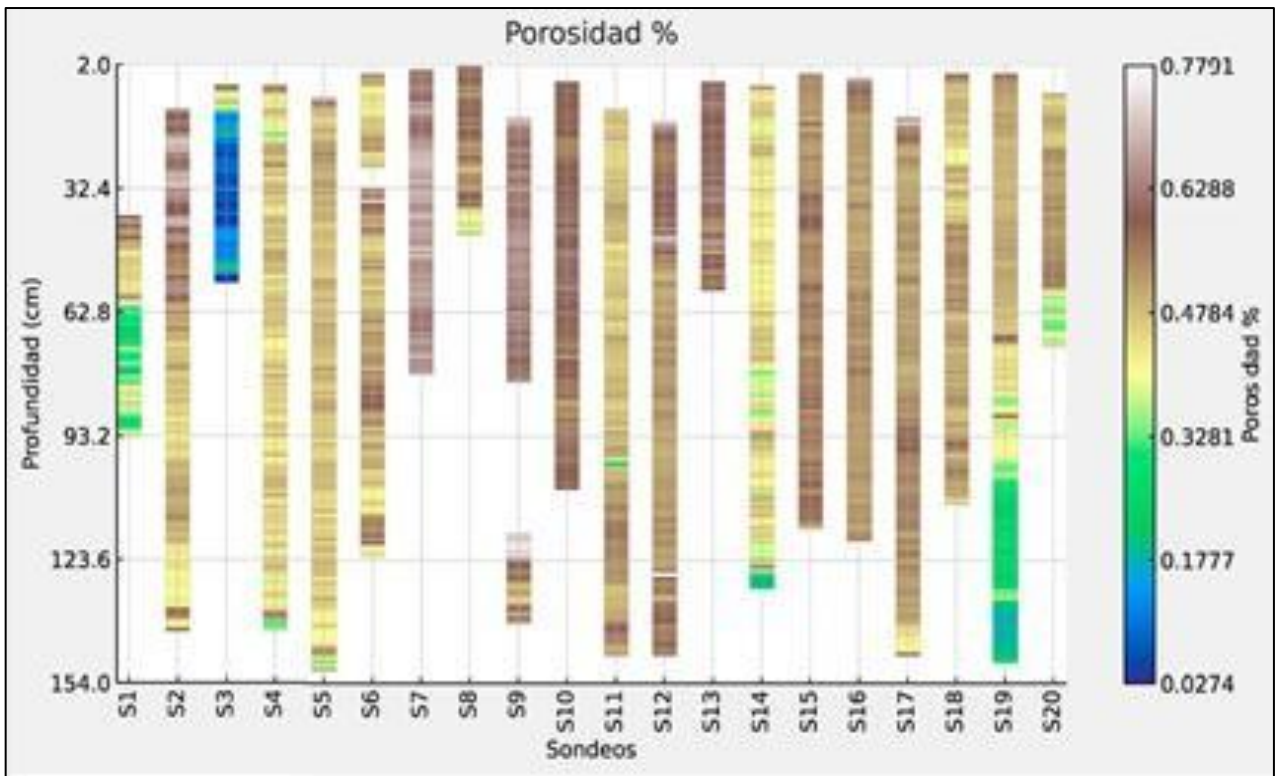
Anexo 5.1. Representación gráfica de la resistividad en todos los sondes.



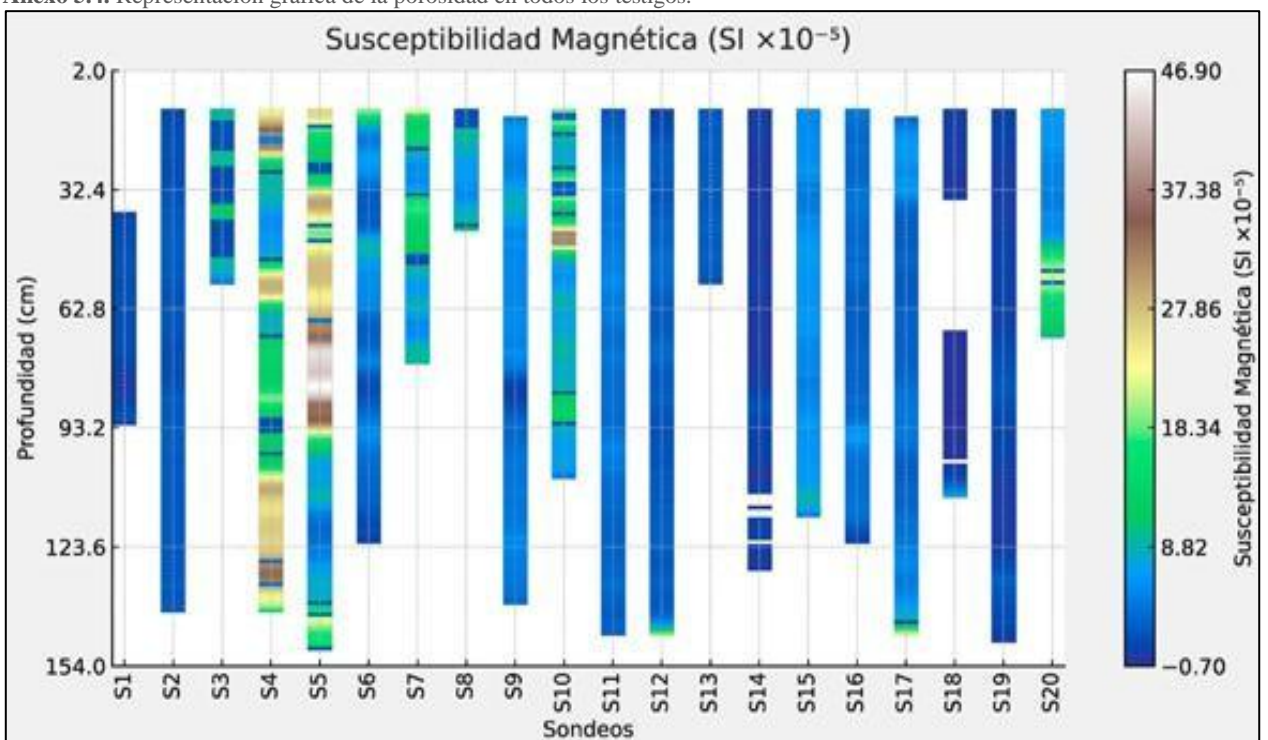
Anexo 5.2. Representación gráfica de la conductividad en todos los testigos.



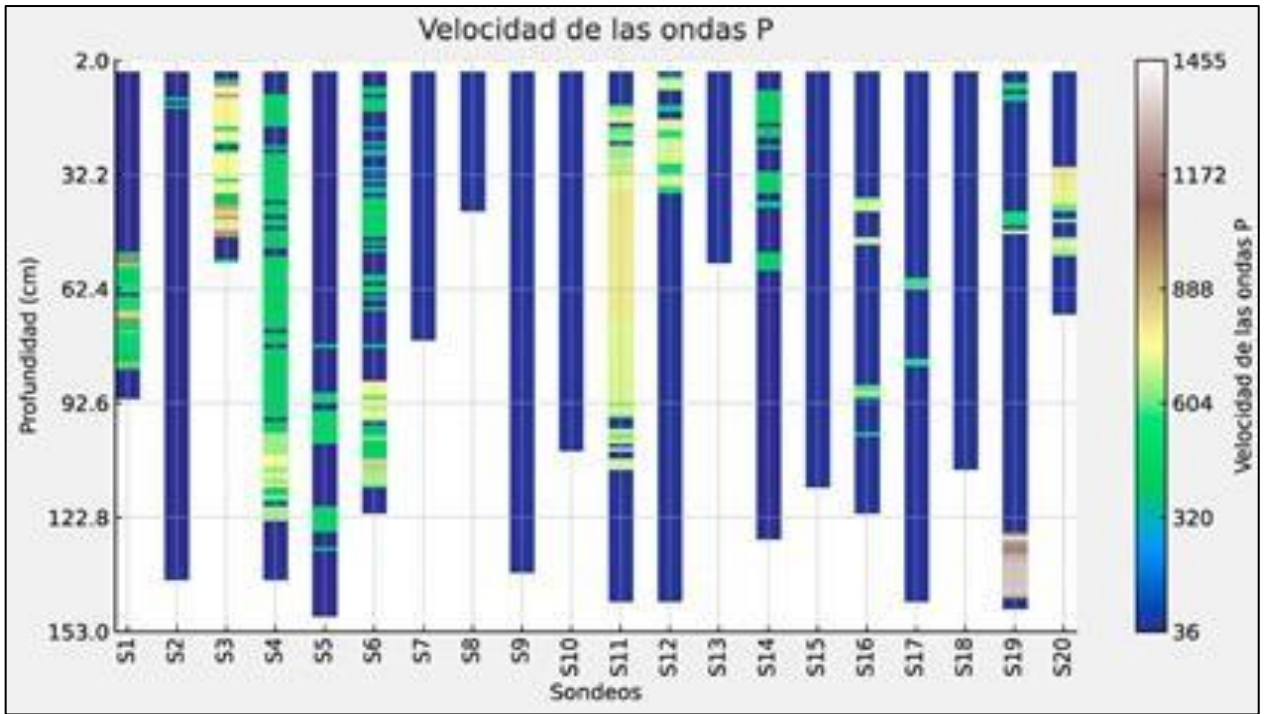
Anexo 5.3. Representación gráfica de la densidad en todos los testigos.



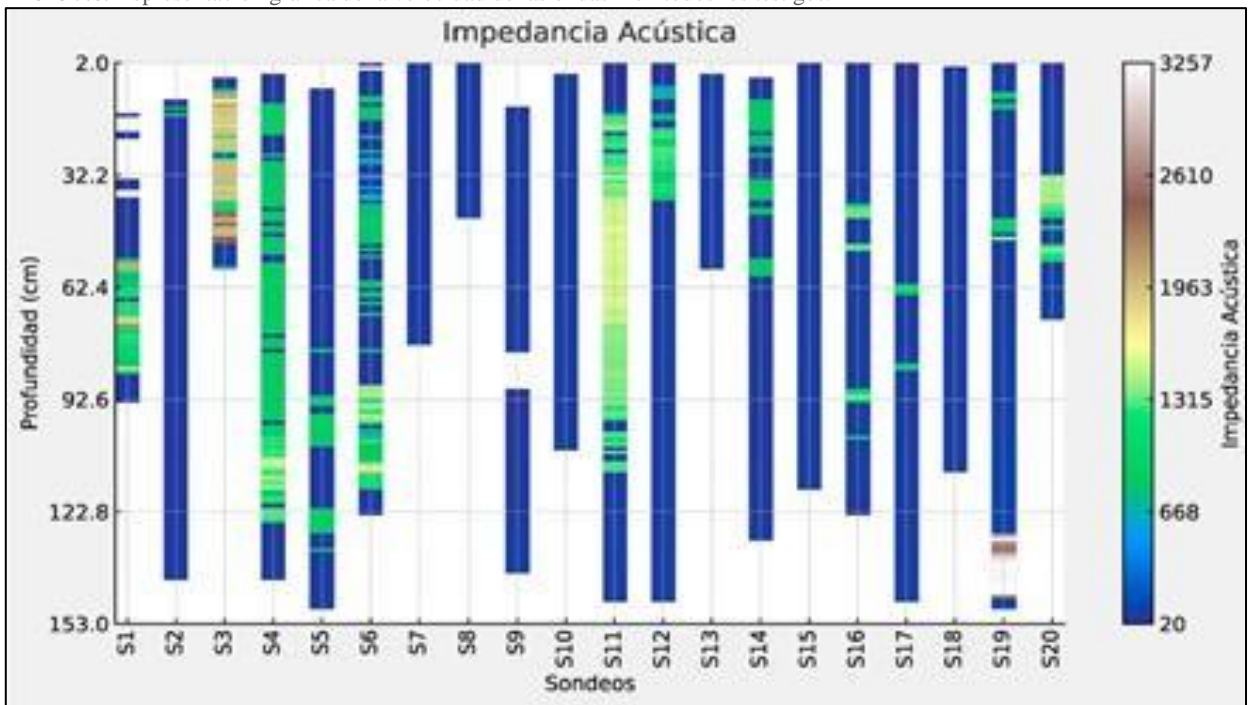
Anexo 5.4. Representación gráfica de la porosidad en todos los testigos.



Anexo 5.5. Representación gráfica de la Susceptibilidad en todos los testigos.



Anexo 5.6. Representación gráfica de la velocidad de las ondas P en todos los testigos.



Anexo 5.7. Representación gráfica de la impedancia en todos los testigos.